



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY DRŽÁKU ŽEHLIČKY

MANUFACTURING OF IRON HOLDER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Tichoň

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Ondřej Tichoň**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh výroby držáku žehličky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby odkládacího plechu pro žehličku z ocelového plechu. Součástka je prostorového tvaru s otvory a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit technologičnost držáku,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj,
- zhotovit výkres nástroje, kusovník a výkresy vybraných pozic.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

TICHONŮ Ondřej: Návrh výroby držáku žehličky.

Práce se zabývá návrhem technologie výroby držáku, který slouží jako odkládací plocha pro žehličku. Jedná se o součást, která je vyráběna z konstrukční oceli o jakosti 11 373.0 ve formě plechu s tloušťkou 1,5 mm. Na základě studie relevantní literatury pojednávající o problematice stříhání, ohýbání a lemování, byl vypracován postup výroby. Po provedení technologických, konstrukčních a kontrolních výpočtů bylo navrženo postupové stříhadlo a ohýbací a lemovací nástroje, pro které byla rovněž vypracována technická dokumentace. Jednotlivé nástroje se skládají mimo jiné z normalizovaných komponent, přičemž jejich funkční části jsou upnuty ve vodících stojácích na výstředníkových lisech. Pro postupové stříhání byl, pro splnění nutných požadavků na velikost tvářecí síly i rozměrů nástrojů, zvolen výstředníkový lis s výrobním označením S 250, a pro další operace, jimiž jsou ohýbání a lemování, byl použit lis s označením S 160.

Klíčová slova: Ocel 11 373, držák žehličky, stříhání, ohýbání, lemování, samostatný nástroj

ABSTRACT

TICHONŮ Ondřej: Design of Iron Holder Manufacturing.

The project deals with design of manufacturing technology of the holder, which is used as a space for the iron to be placed. It is a component made of steel with a quality of 11 373.0 on the form of sheet metal with a thickness of 1,5 mm. Based on the studies of literature relevant to the topic of technologies of cutting, bending and hemming, a production process was developed. After performing technological, constructional and control calculations, a gradual cutter, bending and hemming tools were designed, for which further technical documentation was developed. Each tool consists inter alia of standardized components containing functional parts clamped in guides standing on eccentric presses. For progressive cutting, an eccentric press with designation S 250 was chosen due to meeting requirements for the size of the forming force and the dimensions of the tools, and the press with designation S 160 was used for further operations, which are bending and hemming.

Keywords: 11 373 steel, iron holder, cutting, bending, hemming, individual tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TICHONĚ, Ondřej. *Návrh výroby držáku žehličky* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-21].
Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132269>. Bakalářská práce.
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
Vedoucí práce Kamil Podaný.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 21.5.2021

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ	10
1.1 Variantní řešení	11
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ, LEMOVÁNÍ A OHÝBÁNÍ	14
2.1 Stříhání	14
2.1.1 Vůle	15
2.1.2 Síla a práce	15
2.2 Lemování	16
2.2.3 Síla	17
2.3 Ohýbání	18
2.3.1 Odpružení, min. a max. poloměr ohybu	19
2.3.3 Síla a práce	20
2.4 Stroje	20
2.4 Nástroje	21
2.5 Technologičnost	22
3 NÁVRH ŘEŠENÍ	25
3.1 Velikost přístřihu, nástřihový plán a polotovár	26
3.2 Postupové stříhání	30
3.2.1 Volba stroje a návrh nástroje	35
3.3 Ohýbání	36
3.3.1 Volba stroje a návrh nástroje	38
3.4 Lemování	39
3.4.1 Volba stroje a návrh nástroje	39
4 ZÁVĚRY	41

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2]

Pro výrobu součástí je ve strojírenství možné použít velkou škálu technologií, a to například obrábění, tváření, svařování apod. Při její volbě rozhoduje zajištění požadované kvality součásti, jako je například výrobní přesnost, drsnost povrchu nebo také čas na výrobu, který je dalším rozhodujícím faktorem. Od něj se dále odvíjí cena, na kterou má vliv i vybavenost výrobního podniku.

Jednou z možných technologií je tváření, které má své uplatnění v sériové i hromadné výrobě. Jeho výhodou je například v porovnání s obráběním vyšší využití materiálu, které se pohybuje kolem 90 až 95 %. Zároveň umožňuje snadnou mechanizaci a automatizaci, čímž dosahuje vysoké produktivity. Dělí se na plošné a objemové, přičemž pod plošné jsou zahrnuty technologie stříhání, ohýbání a tažení. Výchozím polotovarem bývá plech v podobě pásu nebo tabule, kdy za působení vnějších sil dochází k přetvoření ve tvar požadovaných součástí, jejichž příklady jsou uvedeny na obr. 1.



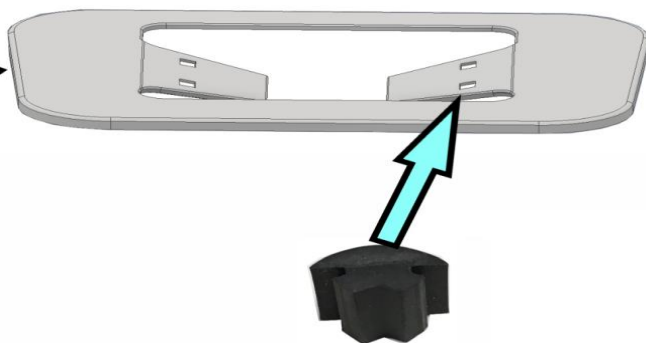
Obr. 1 Příklady součástí vyrobené plošným tvářením

1 ROZBOR ZADÁNÍ [3], [4], [5]

Zadanou součástí je držák (obr. 2), který je dílem sestavy žehlicího prkna (obr. 3). Slouží zejména jako odkládací plocha pro žehličku, přičemž místo pro ni určené tvoří vystřižený otvor v plechu. Na částech, které vyčnívají do středu součásti, jsou vystřiženy čtyři otvory, do nichž jsou vloženy protiskluzové zarážky, jejichž hlavní podstatou je zamezení přímému kontaktu s odkládací plochou, ale také zajištění polohy žehličky. Výrobní množství, které bylo zadáno, činí 30 000 ks/rok.

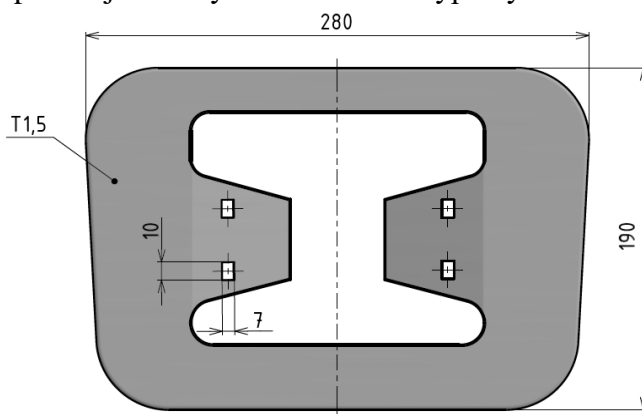


Obr. 3 Sestava žehlicího prkna



Obr. 2 Zadaná součást

Dle obr. 4 jsou největší rozměry součásti 280 a 190 mm s tloušťkou plechu 1,5 mm. Na tvar není kladen požadavek vyšší přesnosti, z čehož plyne, že tolerance v rámci normy ČSN ISO 2768-1 pro střední stupeň přesnosti, podle níž je tolerance pro hlavní rozměry stanovena na $\pm 0,5$ mm, bude dostačující. Do plechu je dále vystřižen otvor s atypickým tvarem, do jehož středu vyčnívají části, které jsou ohnuty o 15° . Rozměry do nich vystřižených obdélníkových otvorů pro protiskluzové zarážky činí 7 a 10 mm, přičemž zde není nutné nijak zvyšovat požadavky na přesnost, neboť jejich funkce zůstane zachována. Okraje součásti jsou tvořeny lemem, který plní vyztužovací, ale také ochrannou funkci, protože jeho vytvořením jsou odstraněny ostré hrany, které by mohly představovat nebezpečný prvek při každodenním používání.



Obr. 4 Základní rozměry součásti

Vhodným materiálem se zde jeví ocelový plech, jenž by měl být ošetřen žáruvzdorným nátěrem, který chrání držák od působení tepla vyvinutého žehličkou a před případnou korozí. Držák je ke konstrukci žehlicího prkna svařen, a tudíž by měl jeho materiál tuto vlastnost zajišťovat. Pro řešení, které tyto vlastnosti splňuje, byla zvolena ocel 11 373.0, což je konstrukční ocel, která zaručuje svařitelnost a je vhodná pro jednoduché, mírně namáhané a ohýbané součásti. V tabulce číslo 1 je pro ni uvedeno chemické složení a v tabulce číslo 2 mechanické vlastnosti, jež jsou pro daný materiál charakteristické.

Tabulka 1 Chemické složení oceli 11 373.0 [6].

Značka	Chemické složení [%]			
	C max.	P max.	S max.	N max.
11 373	0,17	0,045	0,045	0,007

Tabulka 2 Mechanické vlastnosti oceli 11 373.0 [6].

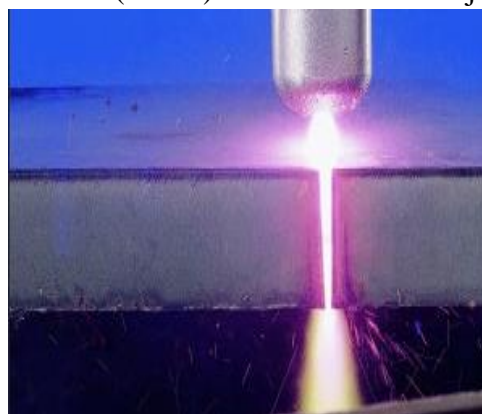
Označení podle ČSN	Mechanické vlastnosti		
	Nejnižší mez kluzu R_{eH} [MPa]	Mez pevnosti v tahu R_m [MPa]	Nejnižší tažnost napříč A [%]
11 373	235	360	16

1.1 Variantní řešení [1], [7], [10], [14]

Při volbě výrobních technologií jsou hlavními faktory zejména velikost součásti, sériovost výroby a také navazující tvářecí operace. V daném případě může být součástka odlita nebo vytvořena pomocí 3D tisku, ale vzhledem k počtu kusů, jenž bude zhotovován, kvalitě povrchu a následnému nátěru jsou zmíněné technologie značně neefektivní, a dále tak s nimi již nebude uvažováno. Součást bude vytvořena ve třech postupných krocích.

V prvním kroku bude potřeba vyhotovit požadovaný tvar součásti. V rámci toho je tak možné uvažovat o použití několika následujících technologií:

- Plazmového řezání – nastává při tavení materiálu tenkým plazmovým paprskem v místě řezu. Díky jeho hoření mezi katodou a řezaným kovem (obr. 5) se materiál taví a je vyfukován pomocí výstupních plynů. Dosahuje požadovaných výrobních přesností a může také mít poměrně velké řezné rychlosti, což je při výrobním množství 30 000 ks/rok důležitým faktorem. Daný materiál součásti je dále z hlediska svých vlastností vyhovující pro řezání plazmou. Nicméně, spotřeba plazmových plynů je velká a jejich pořizovací náklady jsou vysoké, takže dochází k úměrnému navýšení celkové ceny součásti. Je vhodná pro tloušťky plechu od 5 až 150 mm. Při zadané tloušťce 1,5 mm tak není vhodné součást řezat.
- Řezání vodním paprskem – je založeno na obrousování děleného materiálu tlakem vody (obr. 6). Technologie dokáže dělit materiál o tloušťce 0,1 až 200 mm, tudíž je možné ji použít pro zadaný plech mající hodnotu 1,5 mm. Vodním paprskem je možné řezat požadovaný materiál, tudíž je z tohoto hlediska k použití vhodný. Zajišťuje požadovanou výrobní přesnost součásti, ale při procesu dochází ke kontaktu s vodou, v důsledku čehož je nutné povrch okamžitě ošetřit, jinak může vzniknout koroze. Tímto by mohlo být ovlivněno nanesení ochranného nátěru.



Obr. 5 Řezání plazmou [8]



Obr. 6 Řezání vodním paprskem [9]

- Vysekávacího automatu – obrys je zhotoven postupně nástrojem a je programově řízen (obr. 7). Zadaná součást má tloušťku 1,5 mm. Pro technologii je vhodná hodnota do 6 mm, a tudíž ji z tohoto hlediska lze použít. Počet kusů, které je třeba zhotovit, činí 30 000, což by zde nebylo z časového hlediska optimální. Automat je vhodné použít také tehdy, je-li potřeba výroba různých tvarů výstřižků, kde by bylo nutné použít výrobně náročná stříhadla. Zde taková potřeba není, což opět nesvědčí pro plnou využitelnost dané technologie.
- Laserového řezání – využívá zaostření laserového svazku do ohniska, kde dochází k tavení až k sublimaci (obr. 8). Dosahuje vysoké rychlosti a je vhodný pro řezání všech druhů materiálů. Je schopen řezat požadovanou tloušťku plechu s velkou přesností, a to 0,02 až 0,25 mm, na což však u součásti není kladen nárok. Je třeba také zvážit nákladné pořizování stroje, které by v případě, kdy podnik laser nevlastní, mohlo způsobit celkové zdražení součásti.
- Vystřihování v postupovém nástroji – jde o oddělování materiálu pomocí dvojice břitů, přičemž se tvar součásti na plechu vyhotoví po částech ve dvou a více krocích, a to vystřihováním nebo děrováním při každém posuvu plechu ve stříhadle (obr. 9). Technologie disponuje výrobní tolerancí IT 12 až IT 14, takže v případě zadané součásti je požadavek na přesnost splněn. Drsnost povrchu výstřižku zde dosahuje hodnoty 3,2 až 6,3, na což sice není kladen nárok, avšak při zohlednění následného nanášení barvy bude nutné dosáhnout hodnot nacházejících se spíše v první polovině daného rozmezí. Produktivní a vysoce ekonomicky výhodná výroba, kterou je možno automatizovat, se jeví jako vhodná volba pro sérii o velikosti 30 000 kusů. Přestože splňuje mnohé požadavky, nástroj je určený pro konkrétní součást, a není tak možné jej využít pro zhotovení jiného výstřižku.



Obr. 7 Vysekávací automat [11]



Obr. 8 Řezání laserem [12]



Obr. 9 Postupový nástroj [13]

Další krok je představován vytvořením lemu na součásti, jenž lze zhotovit:

- Na lemovacím stroji – lem je zhotoven na okrajích součástí za pomoci kladek (obr. 10). Stroj má možnost pracovat s plechy do tloušťky 8 mm a je vhodný k použití v případě menší série. Přestože je při tloušťce plechu 1,5 mm možné stroj využít, pro požadované množství vhodný není. Vnitřní a vnější lem také nelze zhotovit najednou, a tudíž se prodlužují výrobní časy.



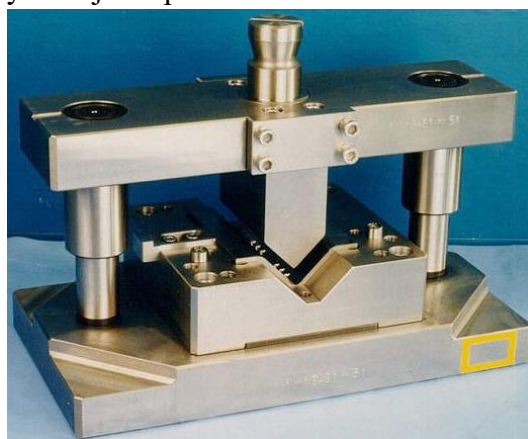
Obr. 10 Lemovací stroj [15]

- Lemováním pomocí nástroje – jedná se o proces lisování, při kterém nastává ohyb okrajů součásti, čímž je vytvářen lem (obr.11). Součást je rovinného tvaru, tudíž je v případě série 30 000 ks/rok efektivním a velmi vhodným řešením právě pořízení pevného nástroje, tedy lisovníku, který bude schopen vytvořit vnitřní i vnější lem v jednom zdvihu.



Obr. 11 Lemovací nástroj [16]

Posledním krokem, který je pro zhotovení součásti nutný, bude provedení ohybu. Není ho však možné zhotovit v ohraňovacím lise, protože by nezajistil potřebnou velikost rozměru. Jediný způsob ohybu, o kterém pro zhotovení může být uvažováno, je ohýbání v nástroji, který je tvořen ohybníkem a ohybnicí. Je upnut do univerzálního lisu, kde dále vykonává přímočarý pohyb a ohýbá jím vloženou součást (obr. 12). Jedná se o zařízení, jež je označováno jako jednoúčelové, a proto je vhodné jej použít zejména v sériové výrobě. Vhodnost tak odpovídá zadanému výrobnímu množství 30 000 kusů. V tomto případě je nástroj efektivní, protože je vhodný na vytvoření ohybu ve tvaru písmene V, čemuž odpovídá i tvar součásti. Je tak tedy schopen zhotovit požadovaný ohyb na jeden zdvih lisu.



Obr. 12 Ohýbadlo [17]

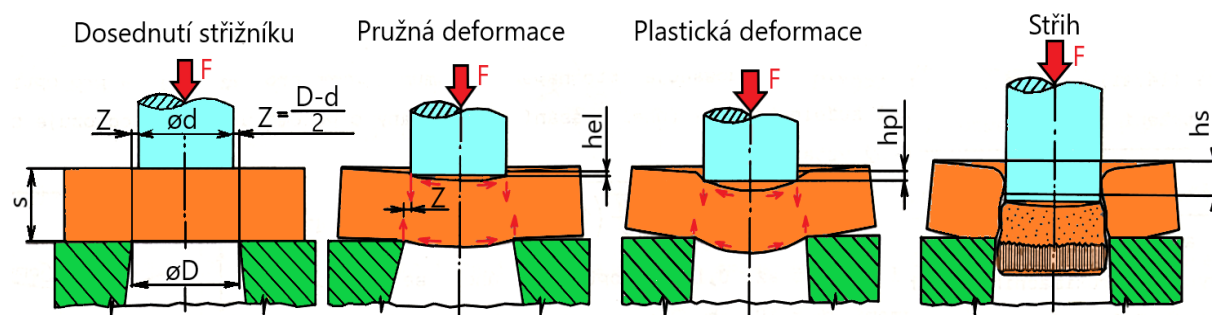
Po zohlednění požadovaného výrobního množství, rozměrů a tvaru součásti je nejoptimálnějším variantním řešením použití vystřihování, lemování a ohýbání v samostatných nástrojích, na které bude zaměřená teoretická i praktická část práce.

2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ, LEMOVÁNÍ A OHÝBÁNÍ

Pro zhotovení je možné využít buď samostatného nebo sdruženého nástroje. Za dané situace by se mohlo jevit vhodným zvolit sdružený nástroj, který představuje jak prostorovou úsporu, tak i zkrácení manipulačních časů. Nicméně se zřetelem na dispozice výrobního podniku, které se vyznačují množstvím zakoupených strojů, a vzhledem k zadanému počtu vyrobených kusů, jeho použití neodpovídá záměrům firmy. Jestliže je její hlavní preferencí důraz na chod výroby, jenž není závislý na provozu jediného stroje a jejím cílem je mimo jiné využití potenciálu všech vlastních strojů, vhodnější variantou je použití samostatných nástrojů, které dané požadavky splňují a zajistí plynulejší proces, jenž bude méně ovlivněn případnými odstávkami konkrétního stroje.

2.1 Stříhání [14], [18], [10]

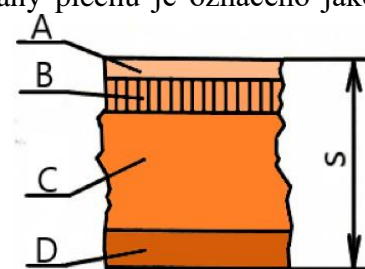
Podstatou stříhání je dělení materiálu pomocí protilehlých nožů, které probíhá za působení síly. Jedním z aspektů, o které se v průběhu stříhání usiluje, je dosažení co nejpřesnější a nejkvalitnější střížné plochy, která je ovlivněna velikostí střížné mezery, ostřím břitů, materiálem apod.



Obr.13 Střížný proces [18]

Proces stříhání znázorněný na obr. 13 začíná kontaktem střížníku s materiálem a vyvozením síly. Střížník pod působící silou vniká do materiálu, a to do hloubky charakteristické pro daný polotovaz, čímž vzniká pružná deformace. Dvojice sil na hranách střížníku a střížnice způsobují ohybové napětí. V případě, kdy na střížník působí taková síla, aby v polotovaru bylo dostatečné napětí pro překročení meze kluzu, nastane plastická deformace. Následuje vyvození síly, kdy napětí dosáhne hodnoty meze pevnosti ve stříhu. V materiálu vzniknou trhlinky, které se jím šíří, až dojde ke stříhu. Rychlost šíření je závislá na mechanických vlastnostech a také na velikosti vůle.

Střížnou plochu, která při procesu vzniká, lze charakterizovat jako esovitého tvaru a dá se dále rozdělit na čtyři oblasti, viz obr. 14. Zaoblení vstupní hrany plechu je označeno jako oblast A. Zde dojde k pružné deformaci v důsledku vnikání nástroje do tvářeného materiálu. Oblast B dále představuje plochu, kde probíhá vtlačování nástroje, a to až do vzniku trhliny. Je charakterizována tím, že je hladká a lesklá. Na vlastní střížné ploše vyznačené písmenem C probíhá samovolné oddělení materiálu pod smykovým napětím a konečně jako oblast D je zde pojmenována plocha, na které dochází k zatlačení spodního nože.



Obr. 14 Střížná plocha [10]

2.1.1 Vůle [1], [10], [19]

Střížná vůle je tvořena mezerami, které vznikají na obou stranách mezi střížníkem a střížnicí. Správné zvolení mezery ovlivňuje jakost střížné plochy, velikost síly, opotřebení nástroje atd. Nevhodné zvolení lze vidět na obr.15, kde v případě 'Z_m' je malá, a naopak v 'Z_v' velká. V obou případech se trhliny míjejí a tvoří nerovný povrch v ploše. Je-li správně zvolena, tak se v okamžiku stříhu setkají a vytvoří plochu bez otřepu. Měla by být konstantní ve všech místech křivky stříhu, jinak dojde ke vzniku povrchových vad a plocha bude nekvalitní. Při jejím stanovení se využívá tabulkových hodnot, kde se bere v úvahu tloušťka materiálu a pevnost ve stříhu, nebo příslušného vztahu pro plechy do tloušťky 3 mm:

$$Z = \frac{v}{2} = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]}, \quad (2.1)$$

kde: Z – střížná mezera [mm],

v – střížná vůle [mm],

c – koeficient závislý na druhu stříhaného materiálu; volí se v rozmezí 0,005 až 0,035 [-]; při nižších hodnotách kvalitní střížná plocha a v případě vyšších hodnot menší střížná síla,

s – tloušťka materiálu [mm],

τ_s - střížný odpor [MPa], dá se vyjádřit:

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m, \quad (2.2)$$

kde: R_m – mez pevnosti v tahu [MPa].

Mezi základní operace se řadí vystřihování a děrování. V případě vystřihování je pro tvar součásti určující rozměr otvoru ve střížnici, který se odvíjí od požadovaných rozměrů, a velikost střížníku je zmenšena o hodnotu vůle. Při děrování určuje rozměry otvoru střížník, jehož rozměry jsou shodné se součástí. Otvor ve střížnici se o danou hodnotu zvětšuje.

2.1.2 Síla a práce [19], [18], [10]

Určení střížné síly a práce je nezbytnou částí při návrhu stroje a nástroje. Na polotovar je nutné vyvinout sílu tak velkou, aby v materiálu vzniklo dostatečné napětí pro vznik trhliny a došlo ke stříhu. Lze ji stanovit pomocí vztahu:

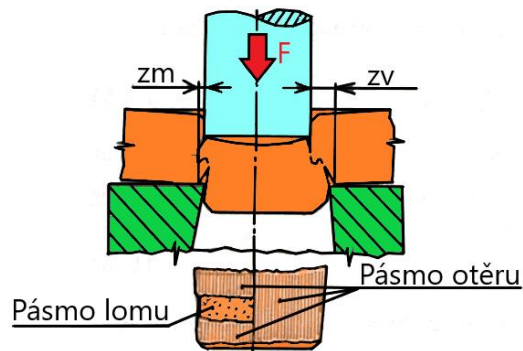
$$F_s = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot s \cdot \tau_s \text{ [N]} \quad (2.3)$$

kde: n – součinitel otupení [-]; volí se v rozmezí 1,2 až 1,5,

S – plocha stříhu [mm²],

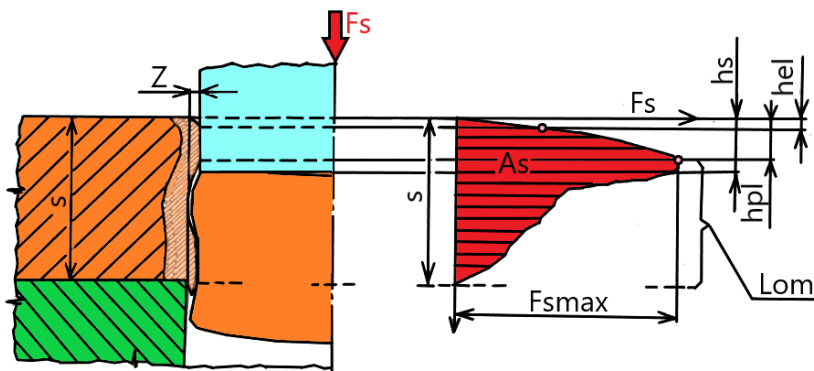
l – délka stříhu [mm].

Při reálných podmínkách nedochází k čistému smyku, ale jedná se o kombinovaná namáhání. Z toho důvodu je teoretická síla navýšena o 20 až 50 %. V případě potřeby je možné sílu snížit pomocí úpravy střížných hran, většinou zešíkmením pod určitým úhlem, a to o 30 až 40 %.



Obr. 15 Stříhání při malé a velké střížné vůli [18]

Průběh dané síly lze vidět v závislosti na hloubce vniknutí střížníku na obr.16. Střížník je tlačěn pod působením síly směrem do materiálu a břit střížníku se dostává do oblasti 'hel', kde dochází k pružnému vniknutí, přičemž průběh síly má lineární závislost. Po překročení meze kluzu se dostává do oblasti 'hpl', kde vzniká plastické zatlačení a síla plynule roste. Jakmile vznikne první porušení trhlinami, síla přestane růst a klesá až do hloubky vniknutí 'hs', kde dojde k úplnému porušení lomem a k následnému oddělování výstřižku s výrazným poklesem síly, přičemž její velikost je ovlivněna třením mezi oddělovacími plochami.



Obr. 16 Průběh střížného procesu a síly [18]

Práce představuje energii, která je potřebná ke stříhu, a z obr. 16 je zřetelná jako plocha 'As' pod silovou křivkou. Lze ji také vypočítat pomocí vzorce:

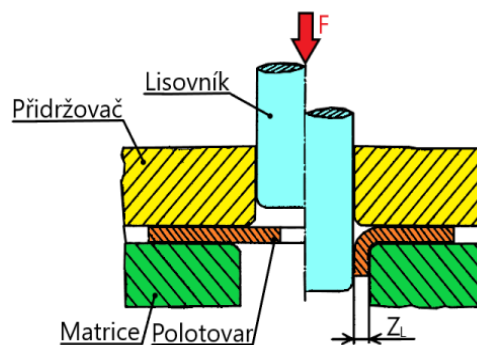
$$As = Fs \cdot s \cdot k_d \quad [J] \quad (2.4)$$

kde: k_d – součinitel hloubky vtlacení [-], volí se v rozmezí 0,4 až 0,7.

Je nutné uvažovat s případnými tolerancemi pevnosti i tloušťky materiálu, a proto se vypočtená práce zvětšuje o 10 až 20 %.

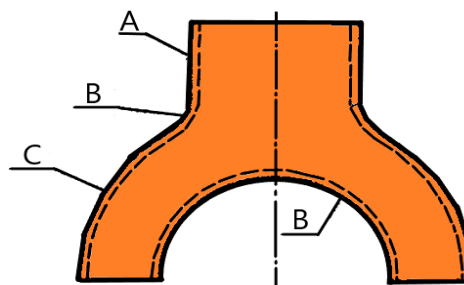
2.2 Lemování [1], [20], [14]

Jedná se o operaci, při které dochází k ohybu okraje součásti. Lemují se nejen okraje rovných součástí, ale i součásti různě zakřivené anebo je možné ho využít také pro otvory. Technologie je charakteristická svým využitím především v rámci leteckých a automobilových konstrukcí, a to zejména s ohledem na svoji funkci, již zvyšuje vzpěrnou stabilitu stěn u velkoplošných dílců. Lem vzniká mezi lisovníkem a matricí za působení síly, což je znázorněno na obr. 17. Důležitou roli při zajištění rovinnosti zde hraje přidržovač. Výsledný tvar je určen mezerou 'ZL' a lisovníkem, který může mít různé tvary zakončení.



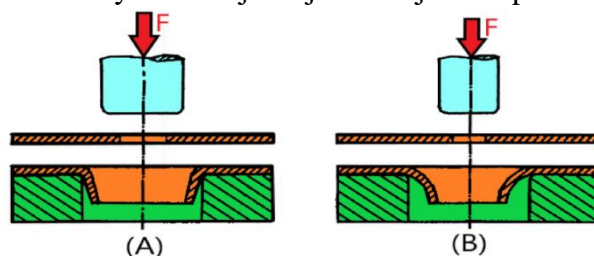
Obr. 17 Lemování [20]

Lemy součástí (obr.18) se mohou různit s ohledem na svůj tvar. Možnými druhy dle daného hlediska jsou například lemy přímé, označené jako (obr. 18-A), vyduté, které jsou znázorněny jako (obr. 18-B) nebo vypuklé jako (obr. 18-C). V případech vypuklých je nutné počítat s problematikou přebytečného materiálu, a u vydutého lemu naopak s jeho nedostatkem, které zde mohou nastat. Při procesu je mezera v přímé části menší než v části kruhové.



Obr. 18 Tvarová součást [20]

Při užití technologie lemování v rámci problematiky otvorů je nejdůležitějším aspektem zejména stanovení správné velikosti mezery. Rozměrově příliš malá mezera, jak je znázorněna na obr. 19 v případě 'A', nebude zcela vyhovující. Jestliže je naopak příliš velká, jak je popsáno v rámci případu 'B', tak lem nebude mít správný tvar, protože ohybová křivka tak bude mít větší poloměr než lisovnice.



Obr. 19 Zvolení mezery [20]

Pro určení polotovaru je nutné zjistit rozvinuté rozměry součásti, pro jejichž vyjádření je dále nezbytné stanovit velikost přesahujícího okraje. Jestliže je $r_m/s = 2,5$, je možné jej stanovit jako:

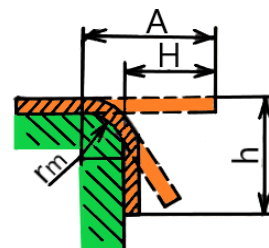
$$H = h - 0,43 \cdot r_m - 0,215 \cdot s \text{ [mm]}, \quad (2.5)$$

kde: r_m – poloměr matrice [mm],

h – výška lemu [mm].

Poté, jak je patrné z obr. 20, se hodnota rozvinutého rozměru stanoví jako:

$$A_L = H + r_m \text{ [mm]}. \quad (2.6)$$



Obr. 20 Rozvinutý rozměr lemu [14]

2.2.1 Síla [20]

Dalším krokem, jenž je nezbytným pro zhotovování lemu, je stanovení síly. S ohledem na zpevňování materiálu při procesu je dobré počítat s maximální hodnotou přirozeného přetvárného odporu. Radiální napětí tak lze vypočítat jako:

$$\sigma_r = (\sigma_k)_v \cdot (1 - k_L) \text{ [MPa]}, \quad (2.7)$$

kde: $(\sigma_k)_v$ – přirozený přetvárný odpor [MPa],

k_L – koeficient lemování [–],

vyjádří se jako:

$$k_L = \frac{r_o}{R_L} \text{ [–]}, \quad (2.8)$$

kde: r_o – poloměr otvoru [mm],

R_L – poloměru lemu [mm].

Příspěvek ohybu přes hranu lisovnice, kde se nezohledňuje zpevnění, je dán vztahem:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_k \cdot s}{2 \cdot r_m + s} \text{ [MPa]}, \quad (2.9)$$

kde: σ_k – napětí na mezi kluzu [MPa].

Z vypočtených hodnot lze stanovit komplexní radiální napětí pro ploché dno lisovnicku jako:

$$(\sigma_r)_K = \sigma_r + \sigma_0 \cdot e^{\mu \cdot \alpha_l} \text{ [MPa]}, \quad (2.10)$$

kde: μ – součinitel tření [–],

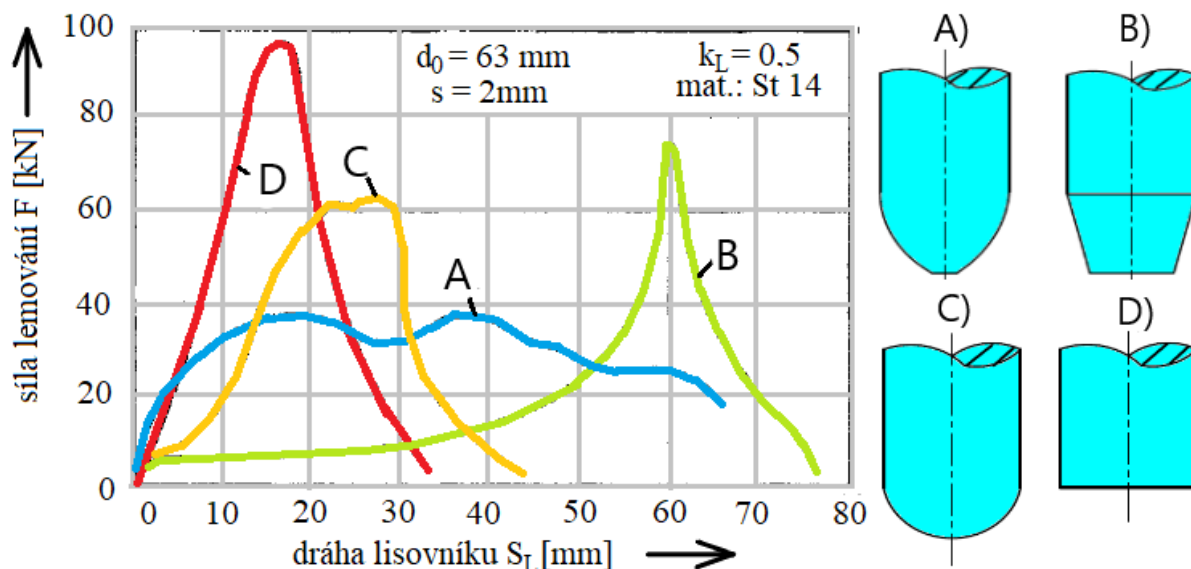
α_l – lemovací úhel [°].

Následně je možné stanovit potřebnou sílu pomocí vztahu:

$$F_L = (\sigma_r)_K \cdot 2 \cdot \pi \cdot (R_L)_s \cdot s \text{ [N]}, \quad (2.11)$$

kde: $(R_L)_s$ – poloměr střední křivky válcového úseku lemu [mm].

Potřebná síla pro lemování otvorů se odvíjí od koeficientu lemování a od tvaru čela lisovníku. S ohledem na zpevňování materiálu při procesu je dobré počítat s maximální hodnotou přirozeného přetvárného odporu.

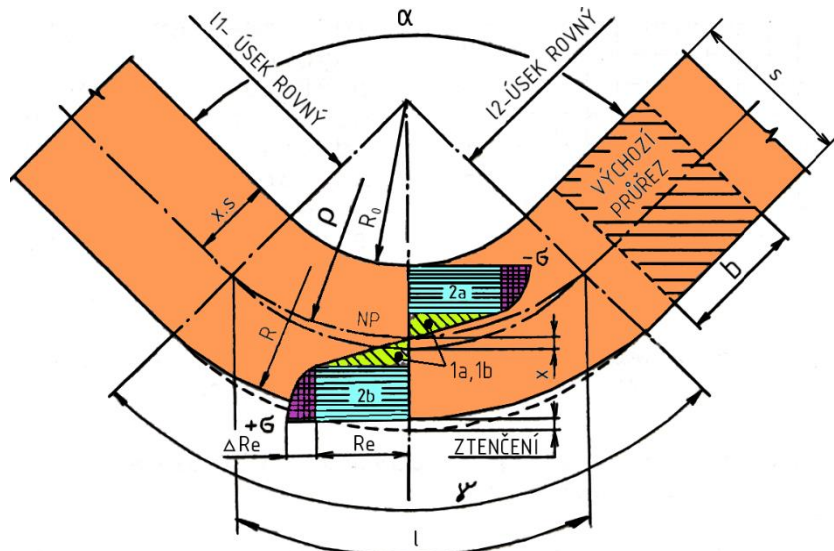


Obr. 21 Tvary lisovníků a průběh síly [20]

Závislost průběhu síly na tvaru lisovníku je znázorněna na obr. 21. Z tohoto grafu vyplývá, že nejméně vhodné zakončení pro tváření je ploché čelo (obr.21D). U něj dochází nejen k ohybu kolem hrany matrice, ale i kolem hrany lisovníku, a proto vykazuje vyšší hodnoty. V případech ostatních zakončení je však situace odlišná a probíhá zde jenom ohyb kolem hrany matrice. Jako neoptimálnější možnost se vzhledem k zatížení stroje jeví varianta tzv. traktrixová (obr.21A). Její výroba je ovšem poněkud dražší, a proto se využívá zejména možnost kulová (obr.21C) nebo kuželová (obr.21B). V případě kuželové se síla zvětší oproti traktrixové 1,2x. Z obrázku je také zjevné, že kuželové zakončení potřebuje nejdelší dráhu lisu, což znamená, že výrobní čas zde bude delší, a také ji není možné vždy použít v případech, kdy stroj nezajišťuje požadovaný zdvih.

2.3 Ohýbání [14], [21], [7]

Při procesu ohýbání dochází k pružně plastické deformaci materiálu napětím vzniklým působící silou, přičemž výsledkem je pak ohyb nebo případné rovnání. Výchozím polotovarem bývá plech. Proces ohýbání je znázorněn na obr. 22. Ten popisuje součást, která se ohýbá o požadovaný úhel ' α ' při poloměru ohybu ' R_0 '. Jeden z důležitých faktorů, které je třeba sledovat, je neutrální plocha 'NP', kterou prochází neutrální osa. Její vlastností je, že se při ohybu neprodlouží ani nezkrátí a napětí na ní je nulové. V důsledku ohybu je daná osa posunuta o hodnotu ' x ', a tudíž již



Obr. 22 Ohýbání [14]

není totožná s osou středu plechu. Její poloha je znázorněna pomocí poloměru ' ρ '. Posouvá se k vnitřní straně součásti. Zde se nachází napětí tlakové, kdežto na vnější straně je naopak tahové. Zpočátku dochází k elastické deformaci, a to konkrétně v oblastech '1a' a '1b'. Následně pak dochází k deformaci plastické, která je v daném případě se zpevněním, přičemž její oblast je znázorněna jako '2a' v části tlakového napětí a '2b' v části tahového napětí.

Pro stanovení polotovaru je nutné stanovit délku ohnuté části. Je ji možno spočítat pomocí vztahu:

$$l_o = \frac{\pi\gamma}{180} \cdot \rho = \frac{\pi\gamma}{180} \cdot (R_o + x \cdot s) \text{ [mm]}, \quad (2.12)$$

kde: γ – úhel ohnutého úseku [°],

dá se vyjádřit jako:

$$\gamma = 180^\circ - \alpha \text{ [°]}, \quad (2.13)$$

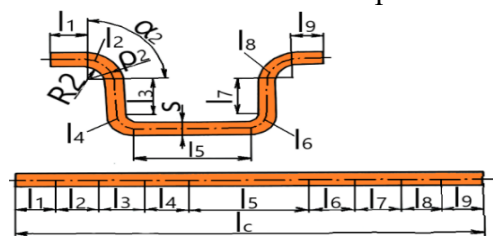
kde: α – úhel ohybu [°],

ρ – poloměr neutrální osy [mm], v případě kdy šířka ohýbaného dílce je větší než trojnásobek tloušťky plechu, tak se stanoví jako:

$$\rho = R_o + x \cdot s \text{ [mm]}, \quad (2.14)$$

kde: x – součinitel posunutí neutrální plochy [-], je závislý na R_o/s .

Následně je možné stanovit délku rozvinutého polotovaru, přitom na obr. 23 lze vidět, že celková délka 'lc' je rovna součtu všech rovných a ohnutých úseků.



Obr. 23 Rozvinutý polotovaz [7]

2.3.1 Odpružení, min. a max. poloměr [21], [14], [7], [22]

Po odlehčení ohýbací síly, která působila na součást, dojde k mírnému návratu rozměrů k výchozí hodnotě z důvodu elastické deformace. Daný jev se nazývá odpružení (obr. 24), hodnota úhlu označená ' γ_0 ' je závislá na materiálu, tloušťce polotovaru, poloměru ohybu a odpružení, kterou lze stanovit:

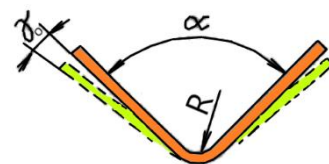
$$\tan \gamma_0 = 0,375 \cdot \frac{lv}{k_o \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} \text{ [°]}, \quad (2.15)$$

kde: lv – vzdálenost mezi opěrami ohybnice (obr.26) [mm],

k_o – součinitel určující polohu neutrální plochy v závislosti na poměru R_o/s ; dle normy ČSN 22 7340 se volí 0,5 až 0,68;

Re – mez kluzu ohýbaného plechu [MPa],

E – modul pružnosti v tahu [MPa].



Obr. 24 Odpružení pro ohyb V [7]

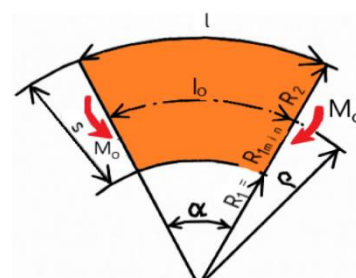
Odpružení je možné kompenzovat větším přehybem materiálu. Pro dosažení takového výsledku, je nástroj vhodné navrhnout tak, aby disponoval příslušnou korekcí. Daný způsob je nejčastějším řešením, nicméně existují i další metody, jako je například kalibrace nebo využití prolisů, které jsou také velmi efektivní.

Proces ohýbání je limitován hranicemi, které určují, jaké poloměry ohybu je možné vytvořit. Daná omezení závisí na plasticitě, anizotropii, způsobu ohýbání, úhlu, šířce, tloušťce a kvalitě povrchu. Pokud by byl zvolen menší poloměr ohybu, než minimální ' R_{1min} ' (obr.25), došlo by k porušení na vnější straně součásti, kde je tahové napětí. Mezní hodnotu lze vyjádřit:

$$R_{1min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = c_2 \cdot s \text{ [mm]}, \quad (2.16)$$

kde: ε_c – mezní prodloužení [-],

c_2 – součinitel závislý na druhu materiálu a způsobu ohybu [-]; volí se 0,4 až 0,8 pro měkkou ocel.



Obr. 25 Minimální poloměr ohybu [22]

Minimálního poloměru ohybu se využívá především v krajních případech – je-li to možné, volí se hodnoty o 20 % větší.

Druhou krajní podmínkou je největší poloměr ohybu, jenž se stanoví pomocí vztahu:

$$R_{1max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{Re} - 1 \right) [mm]. \quad (2.17)$$

Větší poloměr by způsobil, že by nedošlo k plastické deformaci krajních vrstev, ale jen k elastické. Následně by se součást po odlehčení opět narovнала.

2.3.2 Síla a práce [21], [22]

Pro vytvoření požadovaného rozměru je třeba stanovit potřebnou tvářecí sílu, jejíž průběh síly pro ohyb V je znázorněn na obr. 26. Je zde patrná rovněž závislost mezi dráhou nástroje 'h' a ohybovou silou 'Fo', která může být vyjádřena pomocí vzorce:

$$F_o = \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{2 \cdot R} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} [N], \quad (2.18)$$

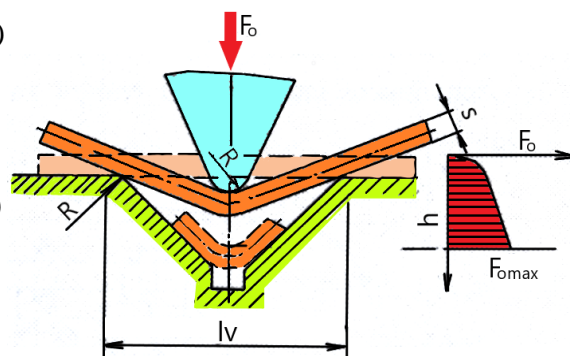
kde: b – šířka ohýbaného plechu [mm].

Z výpočtu síly je možné stanovit práci, kterou bude potřeba vykonat, pomocí vztahu:

$$A_o = F_o \cdot k_f \cdot h [J], \quad (2.19)$$

kde: k_f – koeficient průběhu síly, volí se 1/3.

Z vypočtených hodnot se následně určí vhodný stroj a nástroj.



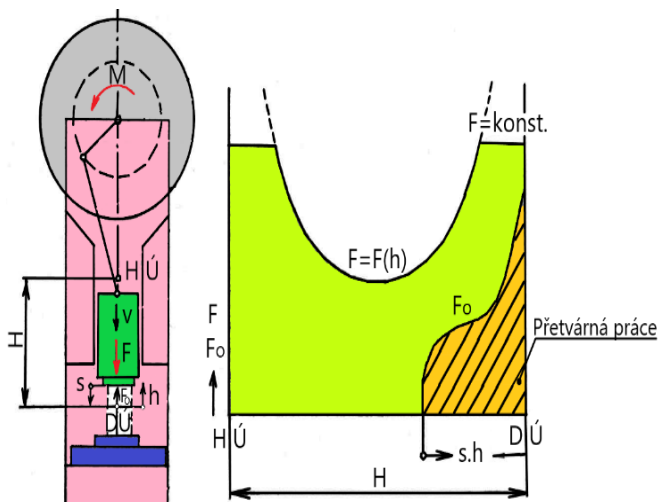
Obr. 26 Průběh ohybové síly pro V [21]

2.4 Stroje [23],[24]

Požadovanou práci pro tváření musí zajistit vhodný stroj, nejčastěji je to lis, který pracuje tlakem pracovní části, které se říká beran. Vykonává přímočarý vratný pohyb, který může být v jednom nebo i více směrech. Konstrukce lisů jsou:

- Mechanické – jsou tvářecí stroje, jejichž beran je poháněn mechanicky. Dělí se na:

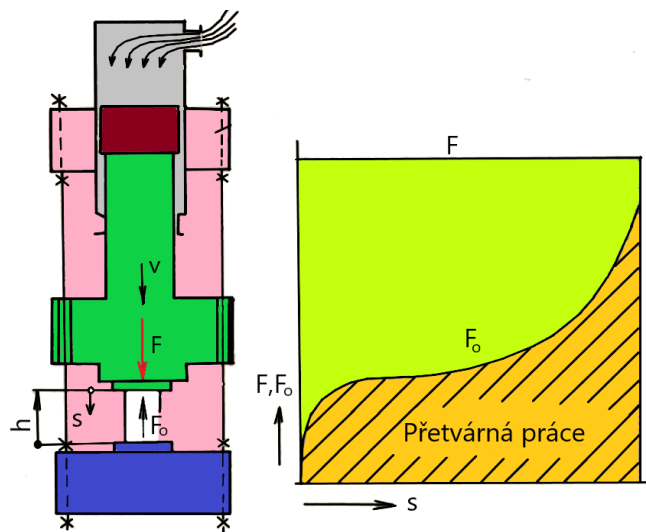
- Klikové – jsou to stroje, které využívají k pohánění pro ně charakteristického klikového ústrojí (obr. 27). Jelikož je zde používáno proměnného převodu, je pak možné při otáčení klikové hřídele při stejném krouticím momentu vyvodit větší tvářecí sílu. Silový průběh pro daný stroj je zde parabolický a bývá proto využíván zejména pro procesy s podobným průběhem síly.



Obr. 27 Klikový lis [24]

- Výstředníkové – vycházejí z klikových a jsou na klikovém čepu doplněny o natáčivé výstředné pouzdro, kterým lze měnit výstřednost klikového ústrojí, jež určuje velikost zdvihu beranu lisu. Jejich hlavní výhodou je možnost rychlého nastavení optimálního zdvihu, tudíž jsou velice univerzální, a také umožňují přístup k pracovnímu prostoru ze tří stran.

- Hydraulické (obr.28) – pro přenos energie využívají kapalinu za aplikace Pascalova zákona. Plunžrem čerpadla o malém průměru se stlačuje kapalina v nádobě, a na velkém je pak možné dosáhnout větší síly, která je dána poměrem ploch obou plunžrů. Jednou z výhod zde je, že stroj je schopen dosáhnout vysokých sil poměrně jednoduchou konstrukcí s malými rozměry. Dále také umožňuje plynule regulovat rychlost pohybu nástroje. Mezi nevýhody naopak patří pomalý chod nástrojů a malý počet pracovních cyklů za minutu. V praxi je používán pro technologie, které vyžadují prodlevu v pracovní poloze za konstantního tlaku nástrojů působících na materiál.



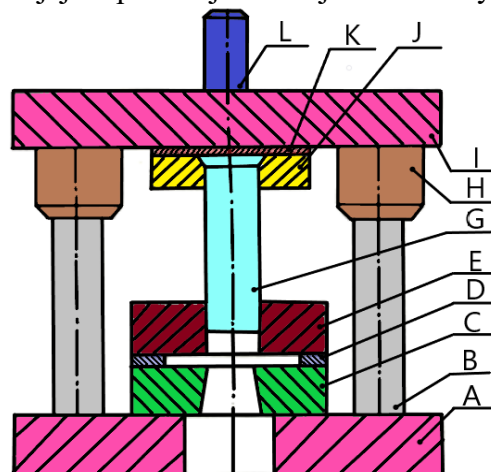
Obr. 28 Hydraulický lis [24]

2.5 Nástroje [25],[20]

Pro každou technologii je charakteristický tvářecí nástroj. Ten se skládá ze součástí, které jsou sériově vyráběny, což kladně ovlivňuje jejich kvalitu i životnost. Zároveň je navržen podle požadavků na výrobu, a tak se může jednat o jednooperační popřípadě postupový. Při návrhu je nutné pamatovat na zásady ekonomické, bezpečnostní, etické a ekologické.

Nástroj (obr. 29) se skládá z horní a dolní části, kde se ve většině případů nachází:

- ☐ Základová deska stojánku (poz. A) – je základnou pro celý nástroj a zároveň jsou k ní přišroubovány všechny prvky spodní části, přičemž jejich poloha je zde zajištěna kolíky.
- ☐ Vodící sloupky (poz. B) – jedná se o součást sestavy stojánku, která zajišťuje vedení a je uložena v základové desce a v pouzdrě.
- ☐ Vodící pouzdro (poz. H) - spolu se sloupkem zajišťuje vedení a je uloženo v upínací desce.
- ☐ Upínací deska stojánku (poz. I) - tvoří základnu upínací hlavice, přičemž jsou k ní připojeny prvky horní části obdobným způsobem, jako v případě základové desky.
- ☐ Kotevní deska (poz. J) - zajišťuje polohu nástroje.
- ☐ Stopka (poz. L) - slouží pro upevnění horní části do otvoru v beranu lisu a bývá také využívána k ustředění nástroje.

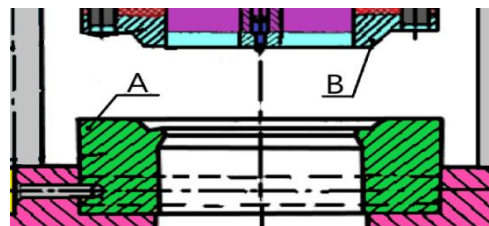


Obr. 29 Střížný nástroj [25]

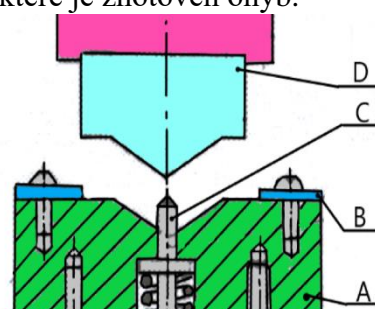
U jednotlivých aplikací se konkrétní nástroje liší funkčními částmi pro technologie:

- Stříhání (obr. 29):
 - Střížnice (poz. C) - je hlavní částí skříně a je do ní tlačena střížník... Jejich společnou funkcí je zejména ošetřit správný průběh procesu a zajistit rozměry vystřižené součásti.
 - Vodící lišty (poz. D) - jejichž funkcí je vést pás založeného materiálu a zajistit jeho polohu. Jsou opřené o střížnici a je k nim přišroubován podpěrný plech, kam se zakládá polotovár.

- Vodící deska (poz. E) - napomáhá střižníku, aby byl v přesnější poloze vůči střižnici. Je opřena o vodící lišty a může být součástí nástroje, což však není nutné v případě, kdy vedení beranu zaručí dostatečnou přesnost stříhání.
- Střižník (poz. G) - je hlavní částí upínací hlavice a jedná se o funkční část nástroje, kde je jeho funkcí spolu se střižnicí zajistit správný průběh procesu a rozměry vystřižené součásti.
- Opěrná deska (poz. K) - je vložena mezi upínací a kotevní desku. Její funkcí je chránit upínací desku před otlačením od střižníku.
- Lemování (obr.30):
 - Matrice (poz. A) - jedná se o funkční část nástroje, ve které je vytvořen požadovaný tvar.
 - Lisovník (poz. B) - jeho funkcí je vytvoření lemu. Pro zajištění přesnosti se zde používá hledáček, který zaručuje jeho správnou polohu..
- Ohýbání (obr. 31):
 - ❖ Ohybnice (poz. A) - je částí ohýbacího nástroje, ve které je zhotoven ohyb.
 - ❖ Zakládací destičky (poz. B) - slouží ke správnému založení výlisku a jsou přišroubovány k ohybni.
 - ❖ Vyhazovač (poz. C) - slouží k vysunutí součásti z ohybnice po ohnutí. Je v ní uložena přítlačná pružina, která je opřena o základovou desku stojánu.
 - ❖ Ohybník (poz. D) - má tvar v požadovaném tvaru ohybu.



Obr. 30 Sdružený nástroj [20]



Obr. 31 Ohýbací nástroj [7]

2.6 Technologičnost [7], [26], [27], [28],[20]

Pro každou součást platí, že má několik způsobů výroby. Zde se však rozcházejí v produktivitě a ekonomičnosti při stejném počtu kusů. Malá změna tvaru nebo rozměrů součást často výrazně zjednoduší nebo zohospodární výrobu.

Pro zhotovení je nutné, aby měla součást takový tvar, že po výrobě zaručí spolehlivost při nejnižších nákladech na provedení, přičemž podmínky se liší u jednotlivých technologií:

- Stříhání – pro vytvoření výstřižku a vhodnost je nutné dodržet určité zásady:
 - kruhové otvory mají přednost před nekruhovými,
 - přesnosti otvorů (tabulka 3), vnějších rozměrů (tabulka 4) a roztečí mezi otvory (tabulka 5) jsou závislé na rozměru a tloušťce plechu,

Tabulka 3 Dosažitelné přesnosti děrovaných kruhových otvorů [28].

Tloušťka plechu [mm]	Průměr otvoru [mm]		
	Do 10	10 až 50	50 až 100
1-4	0,08 - 0,03	0,10 - 0,06	0,12 - 0,1
Tolerance rozměrů [mm]			

Tabulka 4 Dosažitelné přesnosti výstřižků a tvarových otvorů [28].

Tloušťka plechu [mm]		Délka výstřižku [mm]							
		do 50		50 až 120		120 až 280		260 až 500	
1	2	0,20	0,06	0,30	0,10	0,40	0,12	0,50	0,15
		Tolerance rozměrů [mm]							

Tabulka 5 Dosažitelné přesnosti roztečí děrovaných otvorů [28].

Tloušťka plechu [mm]		Vzdálenost mezi otvory [mm]					
		do 50		50 až 150		150 až 300	
1	2	0,12	0,04	0,20	0,06	0,30	0,10
		Tolerance roztečí \pm [mm]					

- nejmenší průměr, jaký je možné děrovat, je závislý na druhu materiálu a tvaru otvoru (tabulka 6),

Tabulka 6 Velikost nejmenších děrovaných otvorů [27].

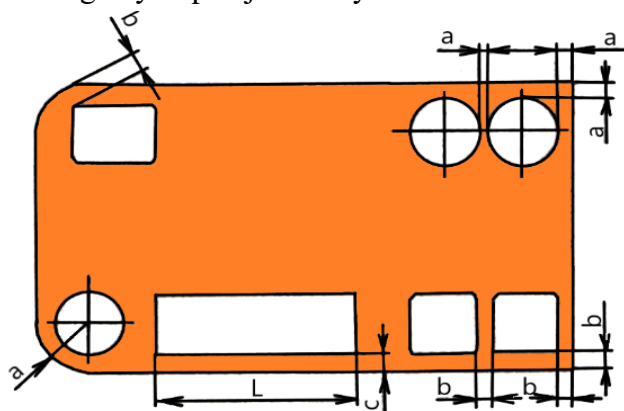
Druh materiálu	Obvyklé děrování	
	Kruhové otvory	Obdélníkové otvory
Měkká ocel	1,0	0,8
Násobky tloušťky stříhaného plechu		

- dodržení charakteristických vzdáleností mezi jednotlivými otvory a dále také od okraje polotovaru, jejichž hodnoty jsou uvedeny v rámci tabulky 7 a znázorněny na obr 32.

Tabulka 7 Vzdálenost otvorů od okraje výstřižku a mezi otvory [mm] [27].

Tloušťka plechu [mm]	Rozměr a [mm]	Rozměr b [mm]	Rozměr c [mm]			
			Pro šířku otvoru L [mm]			
			5 - 50	50 - 100	100 - 200	nad 200
1 – 1,6	2,4	3,2	4,5	8	13	20

Dále je nutné správné uspořádání na pásu plechu, což má vliv na jeho hospodárnou využitelnost. Při procesu vždy vzniká odpad, který lze rozdělit do dvou kategorií, a to na technologický a konstrukční. Technologický odpad je závislý na konkrétním tvaru a uspořádání, naopak konstrukční na vnějším a vnitřním tvaru. Při procesu je žádoucí, aby objem odpadu dosahoval co nejnižších hodnot. Pro zvýšení ekonomičností je někdy potřebné změnit tvar součástí. Hodnota je zjišťována pomocí výpočtu stupně využití, která má být větší než 70 %. Pro stanovení spotřeby materiálu je nutné znát konkrétní rozmístění a orientaci výstřižku na polotovaru.



Obr. 32 Vzdálenosti otvorů od okraje výstřižků a mezi otvory [27]

- Lemování – pro zhotovení lemu je nutné zkontrolovat vyrobiteľnosť zadané výšky lemu, což lze provést pomocí následujícího vzorce:

$$h = 0,5 \cdot (D_L - d_o) = [\text{mm}], \quad (2.20)$$

kde: D_L – průměr lemu [mm],

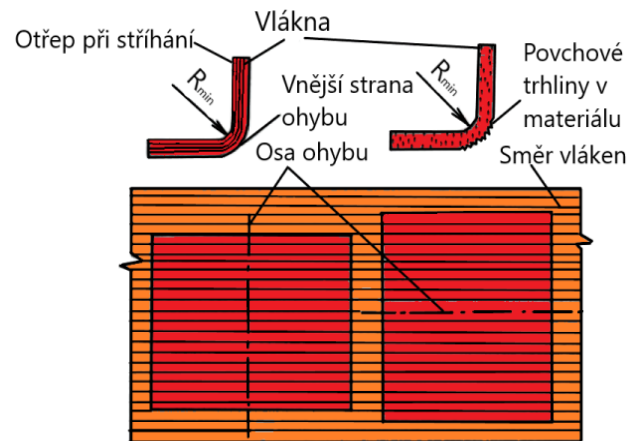
d_o – průměr výchozího otvoru [mm].

- Ohýbání – je také specifické některými charakteristickými zásadami. Při využívání technologie, je vždy nutné zohlednit body, jež vychází z podmínek ohýbání a také z vlastností materiálu:

- ❖ Poloměr ohybu je vhodné volit s ohledem na odpružení co nejmenší. Zároveň je však nutné brát v potaz i tvárnost a tloušťku ohýbaného materiálu, kde se vhodnějším jeví naopak co největší hodnota.

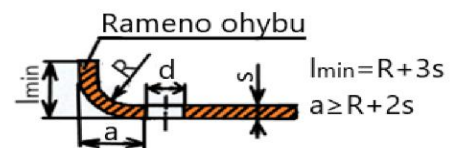
- ❖ Pro potenciální zlepšení vlastností jednotlivých výlisků je vhodné udělat prolisy s malými poloměry zaoblení, čímž lze dosáhnout zvýšení tuhosti a také zmenšení odpružení.

- ❖ Osa ohybu by v ideálním případě měla být kolmá na směr materiálových vláken (obr.33). Jestliže by totiž byla situace opačná, nedošlo by k jejich zhuštění a zlepšení mechanických vlastností, a navíc by hrozilo nebezpečí vzniku trhlin na vnější straně ohybu. Na úkor toho je pak větší hodnota odpružení. Otřep, který vzniká při stříhání musí být na vnitřní straně ohybu, nebo musí být odstraněn broušením.



Obr. 33 Směr vláken [7]

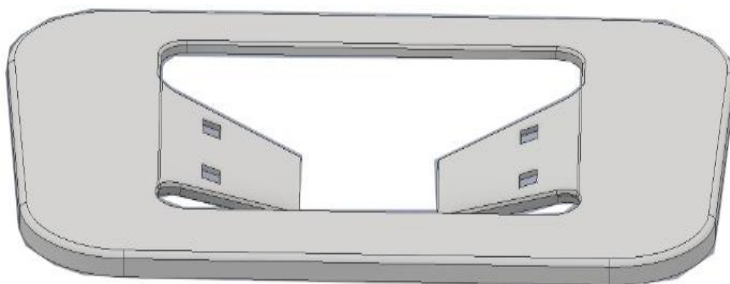
- ❖ Část, která není ohýbána by měla být uvolněna nastřížením nebo prostřížením.
- ❖ Jednotlivá hýbaná ramena výlisku musí mít charakteristickou délku, jinak by ohyb nebyl správně veden.
- ❖ Jestliže se nemají díry deformovat, je nutné, aby byly umístěny v určité vzdálenosti od okraje (obr.34).
- ❖ Jsou-li ohýbaná ramena rozdílně dlouhá od osy ohybu, dochází ke klouzání, a to směrem k delšímu nebo širšímu ramenu, a proto je pak nutné zajistit polohu například pomocí kolíků.



Obr. 34 Rameno ohybu [7]

3 NÁVRH ŘEŠENÍ [28]

Řešeným dílcem je držák žehličky (obr.35) o velikosti série 30 000 ks/rok. Materiálem byl zvolen ocelový plech 11 373.0, přičemž jeho mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 2. Základní rozměry jsou 280 x 190 mm a tloušťka plechu činí 1,5 mm. Tolerance rozměrů jsou stanoveny v rámci normy ČSN ISO 2768-1 pro střední přesnost. Ve vystřiženém otvoru vyčnívají části, které směřují do středu a jsou ohnuty o 15°. V nich jsou vystřiženy čtyři obdélníkové otvory o rozměrech 7x10 mm. Po obvodu součásti je z vnitřní i vnější strany vytvořen lem.



Obr. 35 Držák žehličky

Nejdříve je tedy nutné u součástky posoudit technologičnost z důvodu ověření vyrobiteľnosti a v případě, kdy by hodnoty neodpovídaly, pozměnit konstrukci. Kontrolu je třeba provést pro všechny použité technologie:

➤ Pro stříhání je nutné ověřit:

- Dosažitelné přesnosti pro vystřižení tvarových otvorů, které budou zkontrolovány na obdélníkovém otvoru o rozměrech 7 a 10 mm (obr.36) dle tabulky 4:

$$P_s \leq P_p, \quad (3.1)$$

$$0,2 \leq 0,4,$$

kde: P_s – přesnost stříhání dle tabulky 4 je 0,4 mm,

P_p – požadovaná přesnost dle normy ČSN ISO 2768-1 je 0,2 mm.

Přesnosti, které jsou dosažitelné stříháním vyhovují požadavkům na součásti.

- Přesnost roztečí, jež bude ověřena na rozměru mezi obdélníkovými otvory (obr.37) dle tabulky 5:

$$P_r \leq P_{pr}, \quad (3.2)$$

$$\pm 0,12 \leq \pm 0,3,$$

kde: P_r – přesnost rozteče dle tabulky 5 je $\pm 0,12$ mm,

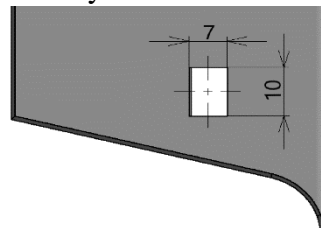
P_{pr} – požadovaná přesnost rozteče dle normy ČSN ISO 2768-1 je $\pm 0,3$ mm.

Přesnost roztečí je vyhovující.

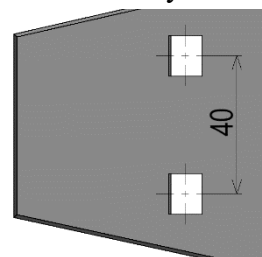
- Vyrobiteľnost daných otvorů, přičemž se vychází z tabulky 6. Vztah pro minimální šířku obdélníkového otvoru se vyjádří jako:

$$b_{min} = s \cdot 0,8 = 1,5 \cdot 0,8 = 1,2 \text{ mm}. \quad (3.3)$$

Z toho plyne, že šířka otvorů je vyhovující, jelikož má rozměry 7 a 10 mm (obr. 36), a je tak možné je vystříhnout.



Obr. 36 Rozměry otvoru



Obr. 37 Rozměr rozteče

- Vzdálenosti otvorů od okraje výstřižku, které jsou zkontrolovány dle tabulky 7. Jako příklad kontroly byla zvolena oblast, která je znázorněna na obr. 38:

$$\begin{aligned} v_o &\leq v_{os}, \\ 3,2 &\leq 7,8, \end{aligned} \quad (3.4)$$

kde: v_o - vzdálenost otvoru od kraje dle tabulky 7 je 3,2 mm,

v_{os} - vzdálenost stříhaného otvoru od kraje (obr.38) [mm].

Vzdálenost otvoru od okraje je dostačující.

- Vzdálenosti mezi otvory, jež jsou zkontrolovány dle tabulky 7:

$$\begin{aligned} v_{mo} &\leq v_{mos}, \\ 3,2 &\leq 30, \end{aligned} \quad (3.5)$$

kde: v_{mo} - vzdálenost mezi otvory dle tabulky 7 je 3,2 mm,

v_{mos} - vzdálenost mezi otvory na součásti dle obr. 38 je 30 mm.

Vzdálenost mezi otvory splňuje požadavky.

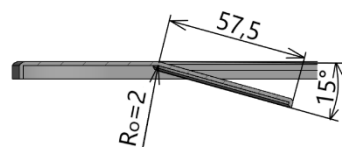
- Pro proces ohýbání je nutné zkontrolovat:

- Minimální hodnotu délky ramene:

$$l_{min} = R_o + 3s = 2 + 3 \cdot 1,5 = 6,5 \text{ mm.} \quad (3.6)$$

kde: R_o - poloměr ohybu, který dle obr. 39 je 2 mm.

Zadaná součást zde má délku 57,5 mm, což vyplývá z obr. 39, a tudíž lze součást vyrobit.

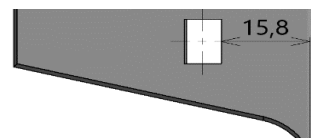


Obr. 39 Poloměr ohybu

- Pro minimální vzdálenost otvoru od ohybu je dán vztahem:

$$\begin{aligned} l_{min d} &\geq R_o + 2s \\ l_{min d} &\geq 2 + 2 \cdot 1,5 \\ l_{min d} &\geq 5 \text{ mm.} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Z obr. 40 plyne, že hodnota vzdálenosti činí 15,8 mm. Z toho lze odvodit, že ohyb je možné vyrobit.



Obr. 40 Vzdálenost otvorů od ohybu

Z provedeného posouzení technologičnosti vyplývá, že součást je vyrobitelná.

3.1 Velikost přístřihu, nástřihový plán a polotovár [14],[27]

Před vytvořením nástřihového plánu je nutné stanovit potřebný přístřih pro:

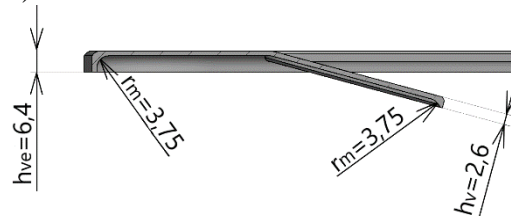
- Vnitřní lem:

- Hodnota přídatku se stanoví podle vztahu (2.5):

$$\begin{aligned} H_v &= h_v - 0,43 \cdot r_m - 0,215 \cdot s = \\ &= 2,6 - 0,43 \cdot 3,75 - 0,215 \cdot 1,5 = \\ &= 0,665 \text{ mm,} \end{aligned}$$

kde: h_v - výška vnitřního lemu dle obr.41 je 2,6 mm.

r_m - poloměr zaoblení matrice z obr. 41 je 3,75 mm.



Obr. 41 Rozměry lemů

Hodnota přídatku pro další výpočty bude ponechána kvůli přesnosti.

- Celkový přístřih je pak určen podle vztahu (2.6):

$$A_v = r_m + H_v = 3,75 + 0,665 = 4,415 \text{ mm.}$$

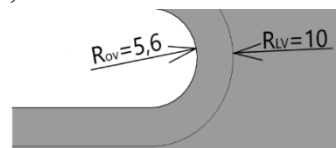
Byla zvolena konkrétní hodnota 4,4 mm, která bude po obvodu součásti z vnitřní strany.

- Navržený přístřih je nutné ověřit v rámci výrobitelnosti, kde se budou uvažovat kruhové části jako otvory, a to dle vzorce (2.20):

$$h_v = 0,5 \cdot (D_{Lv} - d_{ov}) = 0,5 \cdot (20 - 11,2) = 4,4 \text{ mm.}$$

kde: D_{Lv} – průměr olemovaného otvoru,
který odpovídá dvěma poloměrům dle
obr. 42 je 20 mm,

d_{ov} – průměr výchozího otvoru, který odpovídá dvěma poloměrům dle
obr. 42 je 11,2 mm.



Obr. 42 Poloměry lemu vnitřního

S ohledem na vypočtené hodnoty lze prohlásit, že daný přístřih je navržen vhodně.

- Vnější lem:

- Pro jeho stanovení se postupuje obdobně, a to opět podle vzorce (2.5):

$$\begin{aligned} H_{ve} &= h_{ve} - 0,43 \cdot r_m - 0,215 \cdot s = \\ &= 6,4 - 0,43 \cdot 3,75 - 0,215 \cdot 1,5 = 4,465 \text{ mm,} \end{aligned}$$

kde: h_{ve} – výška vnějšího lemu dle obr.41 je 6,4 mm.

S vypočtenou hodnotou bude následně počítáno pro zajištění přesnosti.

- Celková hodnota přístřihu podle (2.6) bude:

$$A_{ve} = r_m + H_{ve} = 3,75 + 4,465 = 8,215 \text{ mm.}$$

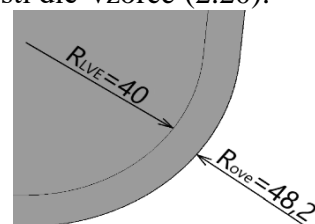
Výsledná hodnota byla zvolena jako 8,2 mm a bude po obvodu součásti.

- Navržený přístřih je nutné opět ověřit v rámci výrobitelnosti dle vzorce (2.20):

$$\begin{aligned} h_{ve} &= 0,5 \cdot (d_{ove} - D_{Lve}) = \\ &= 0,5 \cdot (96,4 - 80) = 8,2 \text{ mm,} \end{aligned}$$

kde: d_{ove} – průměr vnějšího přístřihu, který
odpovídá dvěma poloměrům dle
obr.43. je 96,4 mm,

D_{Lve} – průměr vnějšího lemu, který
odpovídá dvěma poloměrům
a z obr. 43 je 80 mm.



Obr. 43 Poloměry lemu vnějšího

Z vypočtené hodnoty vyplývá, že přístřih je vyhovující a lem lze zhotovit.

Pro zhotovení lemu bude na vnitřním obvodu součásti přidáno 4,4 mm a na vnějším 8,2 mm.

Dále je nutné stanovit potřebnou délku pro vnitřní části, na kterých je proveden ohyb, a zkontrolovat hodnotu poloměru ohybu.

- Délka ohnuté části se stanoví jako:

$$L_c = l_{pu} + l_o = 57,5 + 0,69 = 58,19 \text{ mm,} \quad (3.8)$$

kde: l_{pu} – délka přímého úseku, která dle obr. 44 je 57,5 mm,

l_o – délka oblouku [mm], která se stanoví dle (2.12):

$$\begin{aligned} l_o &= \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (R_o + x \cdot s) = \\ &= \frac{\pi \cdot 15^\circ}{180} \cdot (2 + 0,4283 \cdot 1,5) = 0,69 \text{ mm,} \end{aligned}$$

kde: γ – úhel ohnutého úseku dle obr.39 je 15° ,

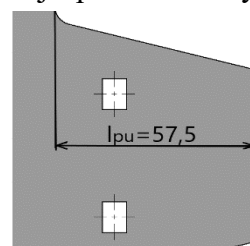
x – součinitel posunutí [-], kde jeho hodnota je závislá na:

$$R_o/s = 2/1,5 = 1,33 \text{ [-].}$$

A jeho hodnoty jsou uvedeny v tabulce číslo 8, kde pro hodnotu x byla přepočítána pro danou hodnotu.

Tabulka 8 Závislost součinitele posunutí na poloměru ohybu a tloušťce plechu [14].

R_o/s	1	1,33	2
x [-]	0,42	0,4283	0,445



Obr. 44 Délka přímého úseku

Dle výpočtu byla zvolena celková délka součásti 58,2 mm.

- Kritérium minimálního poloměru ohybu je vyjádřeno pomocí (2.16):

$$R_{1min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = c_2 \cdot s = 0,5 \cdot 1,5 = 0,75 \text{ mm},$$

kde: c_2 - bylo zvoleno 0,5, protože materiál je měkká ocel.

Díky provedení výpočtu lze dospět k závěru, že poloměr ohybu na součásti (obr. 39) o hodnotě 2 mm je větší než 0,75 mm, tudíž poloměr je vyhovující.

- Následně je zkontrolována druhá mezní podmínka, a to maximální poloměr ohybu podle (2.17):

$$R_{1max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{Re} - 1 \right) = \frac{1,5}{2} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^5}{235} - 1 \right) = 669,463 \text{ mm},$$

kde: E – modul pružnosti v tahu [MPa], pro ocel $2,1 \cdot 10^5$ MPa,

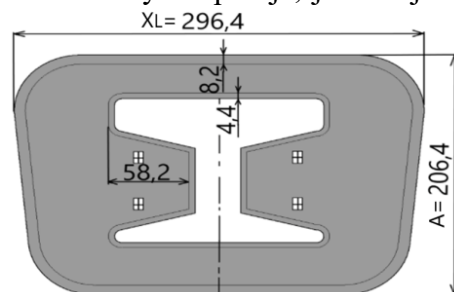
Re – mez kluzu [MPa], dle tabulky 2 je rovna 235 MPa.

Z výpočtu vyplývá, že i druhou mezní podmínku poloměr ohybu splňuje, jelikož jeho hodnota je menší než ta vypočtená.

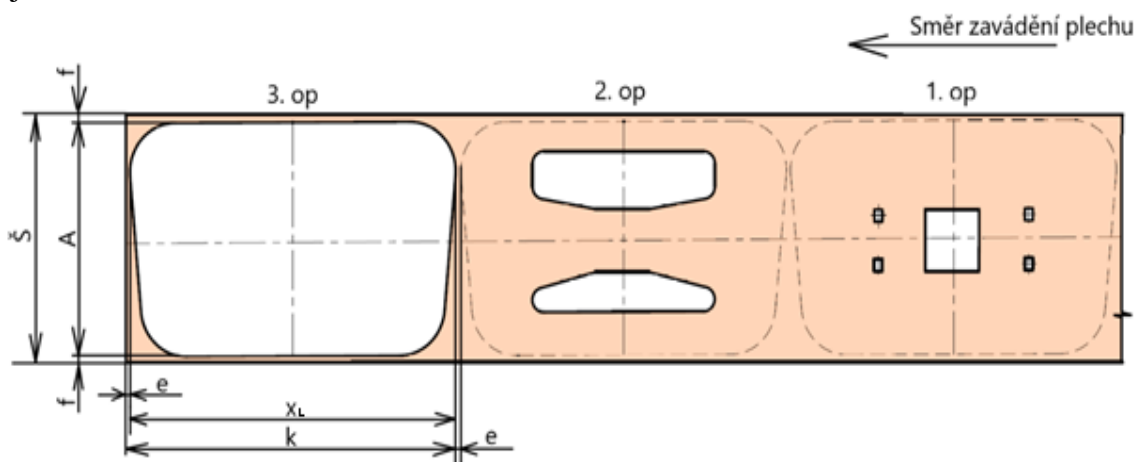
Součást je z technologického hlediska vyrobitelná, a z toho důvodu byl pomocí vypočtených hodnot stanoven tvar součásti, ve které byl zohledněn také přístřih, jenž je názorně naznačen prostřednictvím obr. 45.

Po stanovení přístřihu je možné přejít ke kroku, jenž spočívá ve vytvoření nástřihového plánu, který může mít více variant a to například:

- ❖ Varianta I – podélný pás plechu s orientací součástky vodorovně. Daný nástřihový plán je uveden na obr. 46.



Obr. 45 Rozměry přístřihu



Obr. 46 Nástřihový plán varianta I

Z obr. 46 je zřejmé, že součást je zhotovena ve třech operacích. Po vykonání každé operace se plech posune o hodnotu kroku, která se stanoví jako:

$$k = x_L + e = 296,4 + 4,5 = 300,9 \text{ mm}, \quad (3.9)$$

kde: x_L – délka výstřihu dle obr.45 je 296,4 mm,

e – můstek, který podle přílohy 1 (oranžová) je 4,5 mm.

Pro zachování přesnosti se daná hodnota nebude zaokrouhlovat na celé číslo.

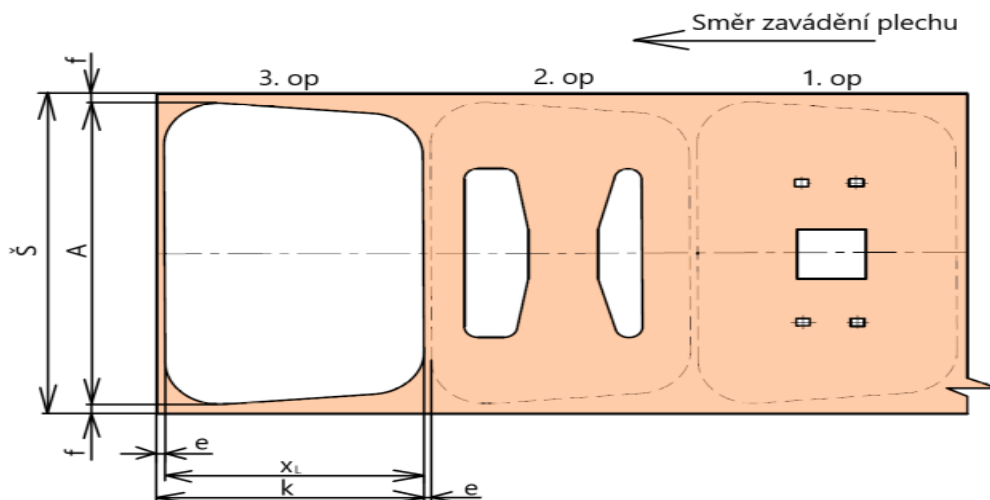
Další hodnotou, kterou je nutno vypočítat, je stanovení šířky pásu, a to jako:

$$\bar{S} = A + 2 \cdot f = 206,4 + 2 \cdot 5,4 = 217,2 \text{ mm}, \quad (3.10)$$

kde: A – šířka součásti z obr. 45 [mm],

f – šířka okraje plechu dle přílohy 1 (oranžová) je 5,4 mm.

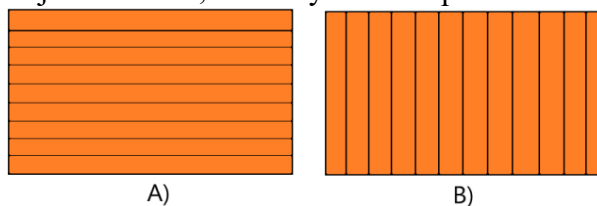
❖ Varianta II – podélný pás plechu s orientací součástky na výšku. Lze jej vidět na obr. 47.



Obr. 47 Nástřihový plán varianta II

Hodnoty můstku a okraje z přílohy 1 (zelená) jsou 5,6 a 6,8 mm. Výpočet šířky pásu a kroku byl proveden analogicky dle varianty I a výsledky jsou uvedeny v tabulce v tabulce 9.

Pro každý nástřihový plán je nutné spočítat ekonomické využití dané varianty. Tomu předchází volba polotovaru, který může být ve formě svitku nebo tabule. V daném případě firma nemá stroje na manipulaci se svitky a odvíjecí zařízení, tudíž byl zvolen polotovar ve formě plechu i při zadaném výrobním množství. Dodavatel poskytuje daný materiál ve formě tabulí o rozměrech 1000 x 2000 mm. Lze je nástřihat podélně (obr. 48A) nebo svisle (obr. 48B). Následně je možné stanovit ekonomické využití, pro které je uveden vzorový výpočet varianty IA:



Obr. 48 Stříhání tabule

□ Plocha tabule:

$$S_T = a_T \cdot b_T = 1000 \cdot 2000 = 2000000 \text{ mm}^2, \quad (3.11)$$

kde: a_T – šířka tabule plechu [mm],
 b_T – délka tabule plechu [mm].

□ Počtu pásů z jedné tabule:

$$P_{pIA} = \frac{a_T}{\bar{s}} = \frac{1000}{217,2} = 4,6 \text{ ks.} \quad (3.12)$$

Byly zvoleny 4 pásy, jelikož neúplné není možné využít.

□ Počet dílců na jednom páse:

$$K_{pIA} = \frac{b_T}{k} = \frac{2000}{300,9} = 6,65 \text{ ks.} \quad (3.13)$$

Bylo zvoleno 6 dílců, jelikož neúplný díl nemůže být použit.

□ Počet výstřížků z jedné tabule:

$$K_{TIA} = P_{pIA} \cdot K_{pIA} = 4 \cdot 6 = 24 \text{ ks.} \quad (3.14)$$

Z jedné tabule plechu je možné zhotovit přesně 24 výstřížků.

□ Potřebný počet tabulí pro zajištění série

$$P_{tIA} = \frac{V_s}{K_{TIA}} = \frac{30\,000}{24} = 1250 \text{ ks,} \quad (3.15)$$

kde: V_s – velikost série ze zadání 30 000 ks/rok.

Pro zajištění série je nutné od dodavatele zajistit 1250 ks tabulí.

□ Procentuální využití:

$$\eta_{IA} = \frac{S_v \cdot K_{TIA}}{S_T} \cdot 100 = \frac{57\,127 \cdot 24}{2000000} \cdot 100 = 68,55\%, \quad (3.16)$$

kde: S_v – plocha výstřižku z aplikace AutoCAD 2019 je 57 127 mm².

Z výpočtů bylo stanoveno, že daný nástřihový plán má procentuální využití v hodnotě 68,55 %.

Výsledky vyplývající z nástřihových plánů dle obr. 46 a obr. 47 lze vyčíst z přehledové tabulky 9, která zahrnuje výsledky podélného (obr.48A) i svislého (obr.48B) stříhání tabule. Zde vyplývá, že nejvhodnějšími variantami z hlediska procentuálního využití materiálu je vystřižení podélné i svislé dle varianty II nástřihového plánu s procentuálním využitím přes 77 %, přičemž pro zajištění série bude potřeba 1112 tabulí. Proto byla zvolena varianta IIA.

Tabulka 9 Přehled výsledků nástřihových plánů.

Nástřihový plán	k [mm]	Š [mm]	P_p [ks]	K_p [ks]	K_T [ks]	P_t [ks]	η [%]
IA	300,9	217,2	4	6	24	1250	68,55
IIA	212	310	3	9	27	1112	77,12
IB	212	310	6	4	24	1250	68,55
IIB	300,9	217,2	9	3	27	1112	77,12

3.2 Postupové stříhání [10], [28], [25]

První operací pro zhotovení součástky je stříhání v postupovém nástroji, pomocí něhož se dosáhne požadovaného tvaru, a to v rámci tří kroků, které jsou popsány na obr. 47:

- vytvoření čtyř obdélníkových otvorů, které budou vystřiženy spolu s větším obdélníkem,
- zhotovení dvou atypických tvarů v rámci vnitřní části,
- konečné vystřižení obvodu ve tvaru součásti.

Nejprve budou provedeny následující konstrukční výpočty, a to:

➤ Střížná vůle – lze stanovit dle vztahu (2.1):

$$Z = \frac{v}{2} = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s}$$

$$v = 2 \cdot (c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s}) = 2 \cdot (0,02 \cdot 1,5 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{288}) = 0,326 \text{ mm},$$

kde: τ_s – střížný odpor [MPa], dá se vyjádřit dle (2.2):

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 360 = 288 \text{ MPa},$$

kde: R_m – mez pevnosti v tahu dle tabulky 2 je 360 MPa,

c – bylo zvoleno 0,02 s ohledem na kvalitu plochy a velikost síly.

Vypočtená hodnota byla zaokrouhlena na 0,33 mm.

➤ Střížné síly – pro každý tvar, který je vystřižen v jednotlivých operacích dle vztahu (2.3):

▪ První operace:

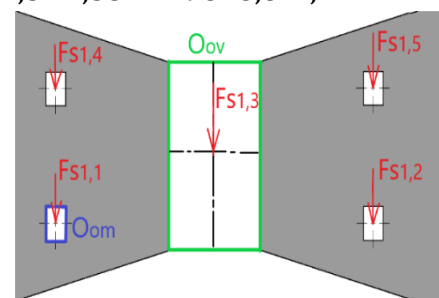
○ Obdélníkový střížník:

$$F_{s1,1} = 0,8 \cdot R_m \cdot O_{om} \cdot s \cdot n = 0,8 \cdot 360 \cdot 34 \cdot 1,5 \cdot 1,35 = 19828,8 \text{ N},$$

kde: n – z intervalu 1,2 až 1,5 zvoleno 1,35 z toho důvodu, aby se předešlo častému ostření,

O_{om} – obvod obdélníku z aplikace AutoCAD 2019, a to 34 mm (obr.49).

Vypočtená hodnota byla následně zaokrouhlena, a to na 19,8 kN. Na součásti jsou zhotoveny čtyři obdélníky, které mají stejný obvod (obr. 49), a tudíž je možné říct, že i síly, jež jsou pro vystřižení potřebné, jsou stejné.



Obr. 49 Znázornění obvodů obdélníků

- Obdélník ve středu součásti:

$$F_{s1,3} = 0,8 \cdot R_m \cdot O_{ov} \cdot s \cdot n = 0,8 \cdot 360 \cdot 178 \cdot 1,5 \cdot 1,35 = 103809,6 \text{ N},$$

kde: O_{ov} – obvod obdélníku ve středu součásti z aplikace AutoCAD 2019, a to 178 mm (obr. 49).

Výsledná hodnota byla zaokrouhlena na 104 kN,

Celková síla:

$$F_{s1} = F_{s1,1} + F_{s1,2} + F_{s1,3} + F_{s1,4} + F_{s1,5}$$

$$F_{s1} = 19,8 + 19,8 + 104 + 19,8 + 19,8 = 183,2 \text{ kN}.$$

Danou hodnotu je nutné zajistit pro vystřižení tvarů.

- Druhá operace:

- Vnitřní tvar (obr.50 fialová):

$$F_{s2,1} = 0,8 \cdot R_m \cdot O_{m\check{c}t} \cdot s \cdot n$$

$$F_{s2,1} = 0,8 \cdot 360 \cdot 315 \cdot 1,5 \cdot 1,35 = 183708 \text{ N},$$

kde: $O_{m\check{c}t}$ – obvod menší části tvaru stanoven z aplikace AutoCAD 2019, a to 315 mm (obr. 50).

Výsledná hodnota byla zaokrouhlena na 184 kN,

- Vnitřní tvar (obr. 50 oranžová):

$$F_{s2,2} = 0,8 \cdot R_m \cdot O_{v\check{c}t} \cdot s \cdot n = 0,8 \cdot 360 \cdot 349 \cdot 1,5 \cdot 1,35 = 203536,8 \text{ N},$$

kde: $O_{v\check{c}t}$ – obvod větší části tvaru aplikace AutoCAD 2019, a to 349 mm (obr. 50).

Vypočtená hodnota byla zaokrouhlena na 204 kN.

Celkovou sílu:

$$F_{s2} = F_{s2,1} + F_{s2,2} = 184 + 204 = 388 \text{ kN}.$$

Danou hodnotu je nutné zajistit pro vystřižení vnitřní části.

- Třetí operace:

$$F_{s3} = 0,8 \cdot R_m \cdot O_v \cdot s \cdot n$$

$$= 0,8 \cdot 360 \cdot 913,4 \cdot 1,5 \cdot 1,35$$

$$= 532694,88 \text{ N},$$

kde: O_v – obvod výstřižku z aplikace AutoCAD 2019, a to 913,4 mm (obr. 51).

Daná hodnota byla zaokrouhlena na 533 kN.

Celková střižná síla, která se stanoví z jednotlivých výsledků pro každou operaci jako:

$$F_{sc} = F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} = 183,2 + 388 + 533 = 1104,2 \text{ kN}.$$

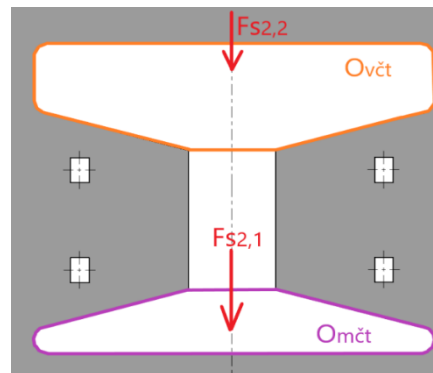
Danou sílu je nutné zajistit pro vystřižení.

- Potřebná práce – dle vztahu (2.4):

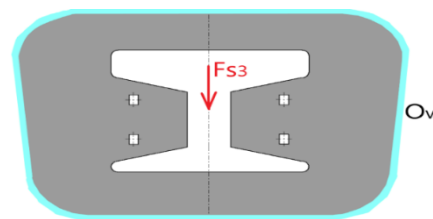
$$A_s = F_{sc} \cdot s \cdot k_d = 1103066 \cdot \frac{1,5}{1000} \cdot 0,5 = 827,3 \text{ J},$$

kde: k_d – součinitel hloubky vtlačení [-], bylo zvoleno 0,5.

Hodnota je zaokrouhlena na 828 J a jedná se o výslednou práci, kterou je nutné vykonat.



Obr. 50 Znáznornění obvodů vnitřní části



Obr. 51 Znáznornění obvodu součásti

- Těžiště – vystřižených částí bylo určeno prostřednictvím aplikace Autodesk Inventor 2021, a jsou patrná z obr. č. 52.

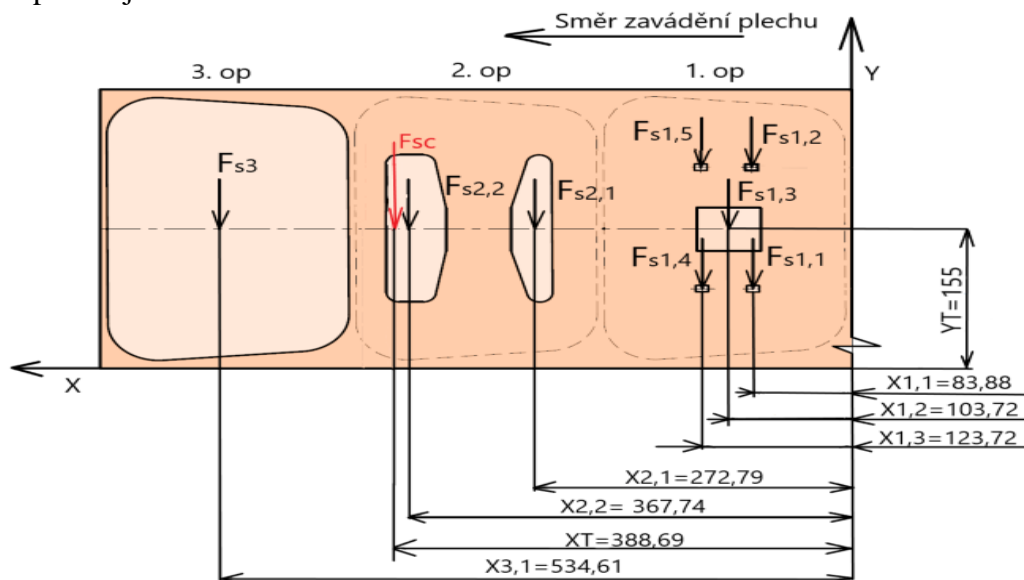
❖ Pro souřadnici x:

$$X_T = \frac{F_{s1,1} \cdot x_{1,1} + F_{s1,2} \cdot x_{1,1} + F_{s1,3} \cdot x_{1,2} + F_{s1,4} \cdot x_{1,3} + F_{s1,5} \cdot x_{1,3}}{F_{s1} + F_{s2} + F_{s3}} + \frac{F_{s2,1} \cdot x_{2,1} + F_{s2,2} \cdot x_{2,2} + F_{s3} \cdot x_{3,1}}{F_{s1} + F_{s2} + F_{s3}} = [mm], \quad (3.20)$$

$$X_T = \frac{19829 \cdot 83,88 + 19829 \cdot 83,88 + 103810 \cdot 103,72 + 19829 \cdot 123,72}{183126 + 387245 + 532695} + \frac{19829 \cdot 123,72 + 183708 \cdot 272,79 + 203537 \cdot 367,74}{183126 + 387245 + 532695} + \frac{532695 \cdot 534,61}{183126 + 387245 + 532695} = 388,686 \text{ mm}.$$

Vypočtená hodnota byla zaokrouhlena na 389 mm.

- ❖ V ose y je pravidelné rozmístění výstřižků, tudíž není nutné stanovovat výpočtem a její pozice je 155 mm.



Obr. 52 Těžiště jednotlivých částí a působíště výsledné síly

Působíště celkové síly se nachází v bodě [389; 155], přičemž je zároveň znázorněna na obr.52.

- Rozměry střížníků a střížnic – je nutné stanovit pro konstrukci nástroje. Pro výpočet je nutné znát hodnotu tolerance pro každý rozměr, přičemž na součásti jsou rozměry tolerovány v rámci normy ČSN ISO 2768-1 pro střední třídu přesnosti. Dále je třeba rozlišit, jestli se jedná o operaci děrování nebo vystřihování, a dle normy ČSN 22 6015 použít příslušný vzorec. Ve vzorci je kromě rozměrů a jejich tolerancí dále počítáno s hodnotou vůle, přípustnou mírou opotřebení a výrobní tolerancí střížníku a střížnice.
- Vzorový výpočet pro děrování je proveden na střížníku (obr. 51) o rozměru 7 a 10 mm. Pro rozměr 7 mm platí, že má hodnotu tolerance $\pm 0,2$ mm dle příslušné normy a podle normy z tabulky 10 a stanoví přípustná míra opotřebení a výrobní tolerance střížníku a střížnice.

Tabulka 10 Tolerance přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel [28]

Tolerance součástky [mm]		Přípustná míra opatření P [mm]	Výrobní tolerance [mm]	
od	do		Střížnice	Střížník
0,37	0,40	0,31	0,12	0,074
0,56	0,60	0,46	0,19	0,120
0,90	1,00	0,76	0,29	0,185

- Rozměry střížníku:

$$A_{kd} = \left(A_j + \frac{P}{2} \right)_{-\delta_k} \quad (3.21)$$

$$= \left(7 + \frac{0,31}{2} \right)_{-0,074} = 7,155_{-0,074} \text{ mm},$$

kde: A_j – jmenovitý rozměr který je 7 mm z obr.53,

δ_k – výrobní tolerance střížníku a je dle tabulky 7 rovna 0,074 mm,

P – přípustná míra opotřebení, která je dle tabulky 7 rovna 0,31 mm.

Podle vypočteného rozměru bude zhotoven střížník.

- Rozměry otvoru ve střížnici:

$$A_{ed} = \left(A_j + \frac{P}{2} + v \right)^{+\delta_e} \quad (3.22)$$

$$= \left(7 + \frac{0,31}{2} + 0,33 \right)^{+0,12} = 7,485_{+0,12}^{+0,12} \text{ mm},$$

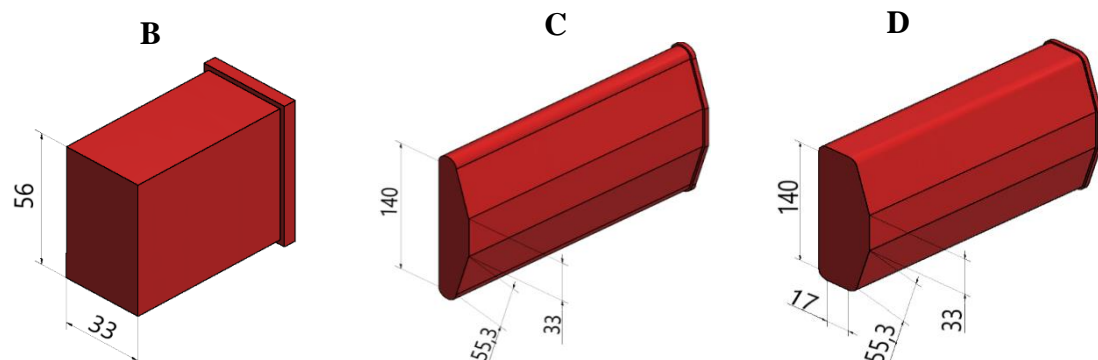
kde: δ_e – výrobní tolerance střížnice [mm].

Dle vypočteného rozměru bude zhotoven otvor ve střížnici.

Funkční rozměry pro ostatní střížníky a střížnice jsou uvedeny v tabulce 11 a jsou zobrazeny na obr. 54.

Tabulka 11 Funkční rozměry střížníků a střížnice [mm].

Střížník	Rozměr	Funkční rozměr střížníku	Funkční rozměr střížnice
10x7 (obr.53)	7	$7,155_{-0,074}^0$	$7,485_{+0,12}^{+0,12}$
	10	$10,155_{-0,074}^0$	$10,485_{+0,12}^{+0,12}$
33x56 (obr.54B)	33	$33,23_{-0,012}^0$	$33,56_{+0,19}^{+0,19}$
	56	$56,23_{-0,12}^0$	$56,56_{+0,19}^{+0,19}$
25,6x151,1 (obr.54C)	140	$140,38_{-0,185}^0$	$140,71_{+0,29}^{+0,29}$
	55,3	$55,53_{-0,12}^0$	$55,86_{+0,19}^{+0,19}$
42,7x151,1 (obr.54 D)	17	$17,155_{-0,074}^0$	$17,485_{+0,12}^{+0,12}$



Obr. 54 Rozměry jednotlivých střížníků

Dle stanovených rozměrů budou zhotoveny nástroje pro první a druhou operaci.

- V případě poslední operace se jedná o vystřihování, kde je proveden vzorový výpočet na rozměru 200 mm (obr.55).

- Rozměry střížnice:

$$A_{ev} = \left(A_j - \frac{P}{2} \right)^{+\delta e} \quad (3.23)$$

$$= \left(200 - \frac{0,76}{2} \right)^{+0,29} = 199,62^{+0,29} \text{ mm.}$$

Dle vypočteného rozměru bude zhotoven otvor ve střížnici.

- Rozměr střížníku:

$$A_{kv} = \left(A_j - \frac{P}{2} - v + \delta_k \right)_{-\delta k} \quad (3.24)$$

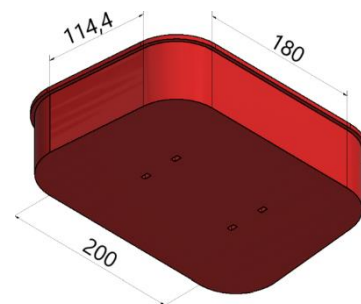
$$= \left(200 - \frac{0,76}{2} - 0,33 + 0,185 \right)_{-0,185} = 199,475_{-0,185} \text{ mm.}$$

Dle vypočteného rozměru bude zhotoven střížník.

Funkční rozměry pro zbytek rozměrů střížníku a střížnice jsou uvedeny v tabulce 12.

Tabulka 12 Funkční rozměry střížníku a střížnice [mm].

Rozměr	Funkční rozměr střížníku	Funkční rozměr střížnice
200	$199,475_{-0,185}^0$	$199,62^{+0,29}$
114,4	$113,96_{-0,12}^0$	$114,17^{+0,19}$
180	$179,475_{-0,185}^0$	$179,62^{+0,29}$



Obr. 55 Střížník pro třetí operaci

- Kontrola – je nutné provést po stanovení funkčních rozměrů, a to na nejkritičtějším střížníku s nejmenším průřezem (obr. 56):

- Otláčení:

$$\sigma_s = \frac{F_{S1,1}}{S_{mč}} = \frac{0,8 \cdot R_m \cdot O_{om} \cdot s \cdot n}{a_{mo} \cdot b_{mo}} = \quad (3.25)$$

$$= \frac{0,8 \cdot 360 \cdot 34 \cdot 1,5 \cdot 1,35}{7 \cdot 10} = 283,269 \text{ MPa,}$$

kde: a_{mo} – Výška obdélníku která je 7 mm dle obr. 56,

b_{mo} – šířka obdélníku, která je 10 mm dle obr.56.

Hodnota byla zaokrouhlena na 284 MPa. Jelikož je větší než 180 MPa, tak je nutné použít opěrnou desku, která je zakalena. Hlavním důvodem je, že by mohlo dojít k vmáčknutí střížníku do měkké upínací desky.

- Vzpěr – pro vedený střížník, kde se uvažuje vetknutí na obou koncích:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n_b \cdot F_{S1,1}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 285,83}{1,75 \cdot 19829}} = 261,321 \text{ mm,} \quad (3.26)$$

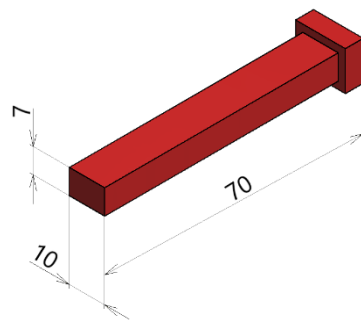
kde: n_b – koeficient bezpečnosti [-]; volí se 1,5 až 2; zvoleno bylo 1,75,

I – moment setrvačnosti průřezu [mm⁴], a stanoví se jako:

$$I = \frac{b_{mo} \cdot a_{mo}^3}{12} = \frac{10 \cdot 7^3}{12} = 285,833 \text{ mm}^4. \quad (3.27)$$

Hodnota byla zaokrouhlena na 285,83 mm⁴.

Celkový výsledek byl zaokrouhlen na 261 mm. Délka daného střížníku by neměla překročit vypočtenou. Důvodem je, že při jejím překročení by mohlo dojít ke ztrátě stability, nebo dokonce až k případnému zlomení nástroje.



Obr. 56 Délka obdélníkového střížníku

Porovnání délky střížníku s kritickou:

$$\begin{aligned} l_{stř} &\leq l_{krit} [mm], \\ 70 &\leq 261,32 \end{aligned} \quad (3.28)$$

kde: $l_{stř}$ – délka střížníku která je 70 mm a je znázorněna na obr. 56.

Střížník tedy splňuje danou podmínku, a nedojde k jeho porušení.

3.2.1 Volba stroje a návrh nástroje [29]

Při volbě vhodného lisu se vychází z celkové střížné síly, která je zvětšena o 50 %. Daná hodnota se navyšuje z důvodu zajištění vystřížení, a tudíž platí:

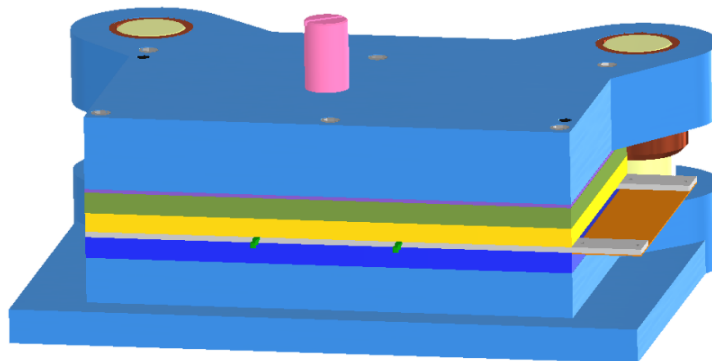
$$\begin{aligned} F_{lis} &\geq 1,5 \cdot F_{sc}, \\ F_{lis} &\geq 1,5 \cdot 1104200, \\ F_{lis} &\geq 1656300N. \end{aligned} \quad (3.29)$$

Sílu, které je třeba dosáhnout, je schopen vyvodit výstředníkový lis S 250 (obr. 57), který je uveden společně i se svými technickými parametry v příloze 2. Dalšími podstatnými kritérii, které je nutné při jeho volbě zohlednit, je upínací plocha, která byla jedním z hlavních rozhodujících faktorů. Kromě toho také zdvih, ale ten lze v rámci parametru stroje volit, tudíž umožňuje využití více nástrojů.



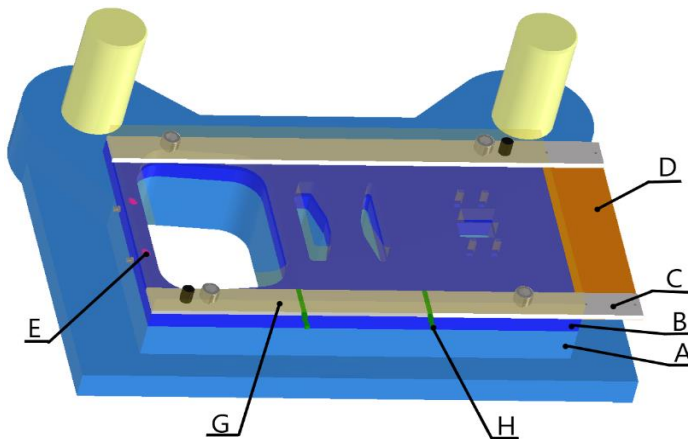
Obr. 57 Výstředníkový lis S 250 [29]

Nástroj v sevřeném stavu je vyobrazen na obr. 58, přičemž je patrné, že se skládá z horní a spodní části. Je vsazen do koupeneého stojánu, ke kterému jsou pomocí šroubů a kolíků připevněny funkční části.



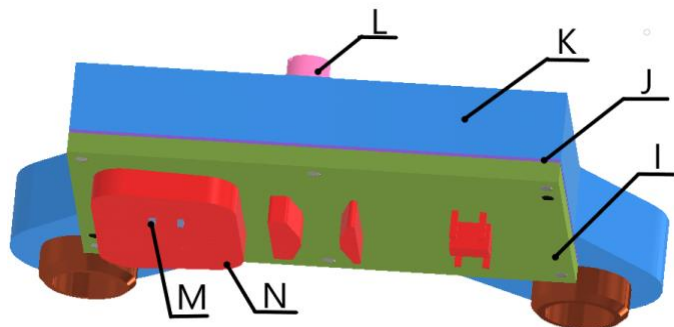
Obr. 58 Postupové stříhadlo v sevřeném stavu

Spodní část (obr. 59) se skládá ze základové desky (poz. A), která tvoří základnu pro daný nástroj. O základovou desku se opírá střížnice (poz. B), která uskutečňuje proces stříhání. Střížnice je oporou pro vodící lišty (poz. C). V jedné z nich jsou vyfrézovány drážky sloužící pro vložení načínacích dorazů (poz. H). V případě poslední operace jsou pro zajištění polohy plechu využity zpětné dorazy (poz. E). S vodícími lištami je také za pomoci šroubů spojen podpěrný plech (poz. D), jenž při zakládání hraje důležitou roli. Správné vedení střížníku do střížnice zajišťuje vodící deska (poz. G), jež je o ně opřena.



Obr. 59 Spodní část postupového stříhadla

Pro horní část nástroje (obr. 60) je základnou upínací deska (poz. K). Pomocí závitu je do ní upevněna stopka (poz. L), jež se nalézá v těžišti nástroje a je vložena do beranu. Mezi kotevní a upínací desku je vložena opěrná deska (poz. J), jež je s nimi v přímém kontaktu. Na opěrné desce se nachází kotevní (poz. I), jež slouží k upevnění střižníků (poz. N). V tomto případě jsou zde zajištěny pomocí osazení. Ve střižníku pro třetí operaci jsou vytvořeny otvory, do nichž jsou nalisovány dva obdélníkové hledáčky (poz. M).



Obr. 60 Horní část postupového stříhadla

3.3 Ohýbání [20]

Druhým procesem, jež tvoří celkový postup, je zhotovení ohybu a olemování vnější strany součástí. Bude proveden pevným nástrojem, přičemž ohyb je na součásti symetrický. Samotné zhotovení zde proběhne v rámci jednoho zdvihu lisu. Proces byl navržen s ohledem na konstrukci lemovacího nástroje, v němž by bylo komplikované zhotovit vnitřní i vnější lem při jednom zdvihu lisu, a proto byly dané operace částečně sloučeny.

Pro navržení nástroje je nutné provést konstrukční výpočty pro jednotlivé operace, a to:

- Ohýbání, pro které je nutné stanovit:

- Odpružení – dle vztahu (2.16):

$$tg \gamma_0 = 0,375 \cdot \frac{lv}{k \cdot s} \cdot \frac{Re}{E}$$

$$\gamma_0 = tg^{-1} \cdot \left(0,375 \cdot \frac{lv}{k \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} \right) = tg^{-1} \cdot \left(0,375 \cdot \frac{158,2}{0,6 \cdot 1,5} \cdot \frac{235}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 4,22^\circ,$$

kde: k – bylo zvoleno 0,6;

lv – vzdálenost mezi opěrami ohybnice z obr. 61 je 158,2 mm.

Hodnota odpružení byla vypočítána $4,22^\circ$ a bude kompenzována přehnutím na nástroji.

- Síla – kde šířka plechu je proměnlivá, a bude uvažováno s největší hodnotou, přičemž bude vypočítána dle vztahu (2.18):

$$F_o = \frac{b_o \cdot s^2 \cdot Re}{2 \cdot R_o} \cdot tg \frac{\gamma}{2} = \frac{82 \cdot 1,5^2 \cdot 235}{2 \cdot 2} \cdot tg \frac{15}{2} = 1427,031 \text{ N}.$$

kde: b_o – šířka ohýbaného plechu z obr. 62 je 82 mm.

Vypočtená hodnota byla zaokrouhlena na 1,4 kN.

Celková ohýbací síla, která je počítána pro dvě ohýbaná ramena a vyjádří jako:

$$F_{oc} = 2 \cdot F_o = 2 \cdot 1400 = 2800 \text{ N}. \quad (3.30)$$

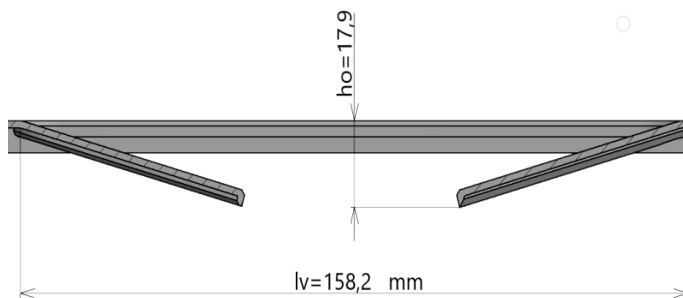
Vypočítanou sílu je nutné zajistit pro zhotovení ohybu.

- Práce – dle (2.19):

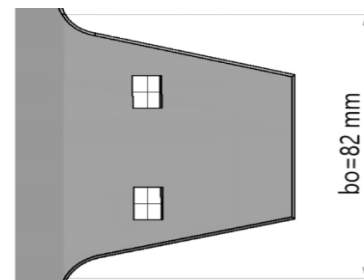
$$A_o = F_{oc} \cdot k_f \cdot h_o = 2800 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{17,9}{1000} = 16,7 \text{ J},$$

kde: h_o – výška ohnuté součásti z obr. 61 je 17,9 mm.

Hodnota byla zaokrouhlena na 17 J, a je nutné ji zajistit.



Obr. 61 Vzdálenost mezi opěrami ohybnice



Obr. 62 Šířka ohýbaného plechu

- Lemování, kde vzhledem k náročnosti určení radiálních napětí byl zvolen jednodušší přístup orientačního výpočtu, který vychází z kruhových lemů, kde obvody před lemováním a výsledného lemu budou přepočítány na hodnoty průměru kružnice. Je nutné provést:

➤ Výpočet lemující síly:

$$F_{vel} = 0,7 \cdot s \cdot d_{vel} \cdot \delta_{vel} \cdot Rm \quad (3.31)$$

$$= 0,7 \cdot 1,5 \cdot 290,7 \cdot 0,07 \cdot 360 = 7691,92 \text{ N},$$

kde: d_{vel} – přepočítaný výchozí průměr z obvodu před lemováním [mm], který se stanoví jako:

$$O_{ve} = d_{vel} \cdot \pi \quad (3.32)$$

$$d_{vel} = \frac{O_{ve}}{\pi} = \frac{913,4}{\pi} = 290,744 \text{ mm},$$

kde: O_{ve} – obvod vnějšího lemu s přístřihem, z aplikace AutoCAD 2019, a to 913,4 mm (obr.63).

Vypočtená hodnota byla zaokrouhlena na 290,7 mm,

δ_{vel} – poměr velikosti otvorů [-], který se vyjádří jako:

$$\delta_{vel} = \frac{d_{vel} - D_{vel}}{d_{vel}} = \frac{290,7 - 270,8}{290,7} = 0,0684, \quad (3.33)$$

kde: D_{vel} – přepočítaný průměr z obvodu lemu [mm], který se vypočítá jako:

$$O_{veb} = D_{vel} \cdot \pi \quad (3.34)$$

$$D_{vel} = \frac{O_{veb}}{\pi} = \frac{850,8}{\pi} = 270,818 \text{ mm},$$

kde: O_{veb} – obvod vnějšího lemu bez přístřihu, z aplikace AutoCad2019, a to 850,8 mm (obr. 63).

Výsledek byl zaokrouhlen na 270,8 mm.

Celková hodnota byla zaokrouhlena na 0,07.

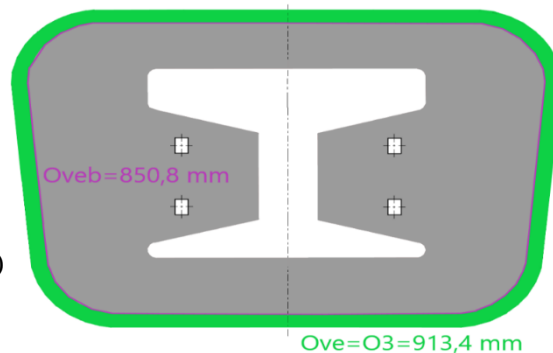
Výsledná hodnota síly, která byla zaokrouhlena na 7,7 kN, je potřebná pro lemování vnější části.

Celková síla pro druhý nástroj je součet ohýbací a lemovací:

$$F_c = F_{oc} + F_{vel} = \quad (3.35)$$

$$= 2,8 + 7,7 = 10,5 \text{ kN}.$$

Danou sílu je nutné zajistit v rámci druhé operace.



Obr. 63 Obvody vnějšího lemu

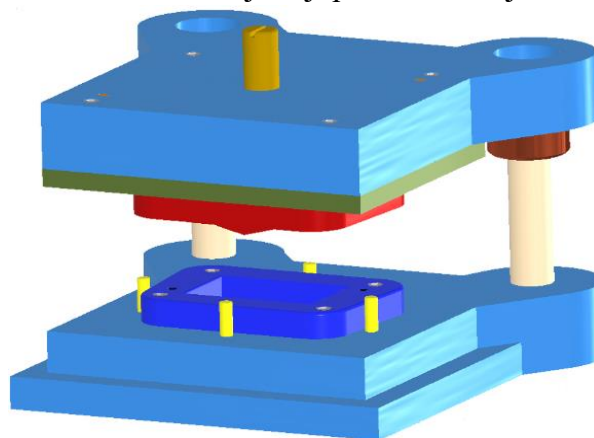
3.3.1 Volba stroje a návrh nástroje [30]

Při volbě stroje se vychází z potřebné síly pro danou operaci, která je zajištěna výstředníkovým lisem S 160 (obr.64), jenž je uveden se svými technickými parametry v příloze 3. Byl zvolen kvůli možnosti odběru strojů od stejné firmy, a to s ohledem na snížení kontrakčních a transakčních nákladů. Lze jej použít pro velmi širokou škálu nástrojů, neboť disponuje nastavitelným zdvihem. Jednou z dalších jeho předností je velikost upínací plochy beranu, která umožňuje větší variabilitu v rámci volby nástrojů o různých velikostech.



Obr. 64 Výstředníkový lis S 160 [30]

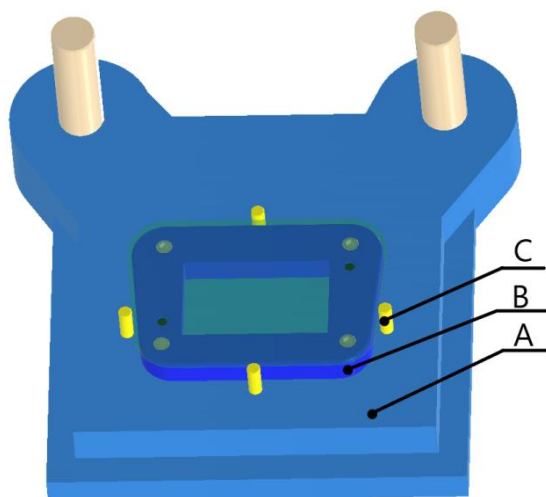
Nástroj v otevřeném stavu lze spatřit na obr. 65, přičemž je složen z horní a dolní části. Je usazen v zakoupeném stojánku, který pomocí své charakteristické konstrukce zajišťuje jeho vedení. Obě části jsou k němu upnuty prostřednictvím šroubů a kolíků, které zajišťují polohu nástroje.



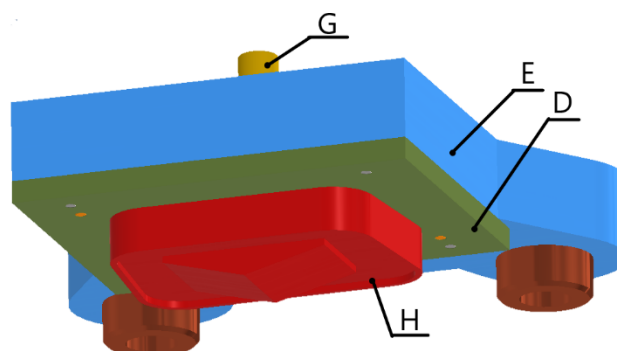
Obr. 65 Ohýbací nástroj v otevřeném stavu

Spodní část nástroje (obr.66) se skládá ze základové desky (poz. A), která je základnou pro celý nástroj. V ní jsou nalisovány základací kolíky (poz.C) a je o ni opřena ohybnice (poz. B).

Pro horní část nástroje (obr. 67) tvoří základnu upínací deska (poz. E), o kterou je opírána kotevní (poz. D). Ohybník (poz. H) je zajištěn v kotevní desce prostřednictvím osazení. Pro upnutí nástroje do stroje slouží stopka (poz. G), která je připevněna do upínací desky pomocí závitu a umístěna v těžišti nástroje.



Obr. 66 Spodní část ohýbacího nástroje



Obr. 67 Horní část ohýbacího nástroje

3.4 Lemování [20]

Třetím a zároveň posledním procesem celého postupu, který dá součásti finální podobu, je lemování. Je zhotoven na vnitřní straně součásti pomocí pevného nástroje a celý proces proběhne v rámci jediného zdvihu beranu lisu.

Pro navržení nástroje je nutné stanovit lemovací sílu, opět byl zvolen jednodušší přístup orientačního výpočtu, který vychází z kruhových lemů, kde obvody před a po lemování budou přepočítány na hodnoty průměru kružnice. Poté se síla stanoví jako:

$$F_{vl} = 0,7 \cdot s \cdot D_{vl} \cdot \delta_{vl} \cdot Rm = 0,7 \cdot 1,5 \cdot 234,5 \cdot 0,04 \cdot 360 = 3545,64 \text{ N}, \quad (3.36)$$

kde: D_{vl} – přepočítaný průměr z obvodu lemu [mm], který se stanoví jako:

$$O_{vlb} = D_{vl} \cdot \pi$$

$$D_{vl} = \frac{O_{vlb}}{\pi} = \frac{736,8}{\pi} = 234,531 \text{ mm}, \quad (3.37)$$

kde: O_{vlb} – obvod vnitřního lemu bez přístřihu, z aplikace AutoCad 2019, a to 736,8 mm (obr.68).

Daná hodnota byla zaokrouhlena na 234,5 mm.

δ_{vl} – poměr velikosti otvorů [-], který se stanoví jako:

$$\delta_{vl} = \frac{D_{vl} - d_{vl}}{D_{vl}} = \frac{234,5 - 226}{234,5} = 0,036 [-], \quad (3.38)$$

kde: d_{vl} – přepočítaný výchozí průměr z obvodu před lemováním [mm], který se stanoví jako:

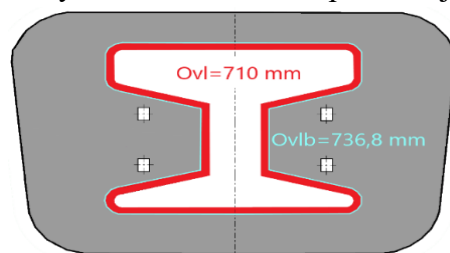
$$O_{vl} = d_{vl} \cdot \pi$$

$$d_{vl} = \frac{O_{vl}}{\pi} = \frac{710}{\pi} = 226 \text{ mm}, \quad (3.39)$$

kde: O_{vl} – obvod vnitřního lemu s přístřihem, z aplikace AutoCad 2019, a to 710 mm (obr.68).

Celková hodnota, se kterou se bude počítat dále, byla zaokrouhlena na 0,04.

Potřebná síla byla zaokrouhlena na 3,5 k N.

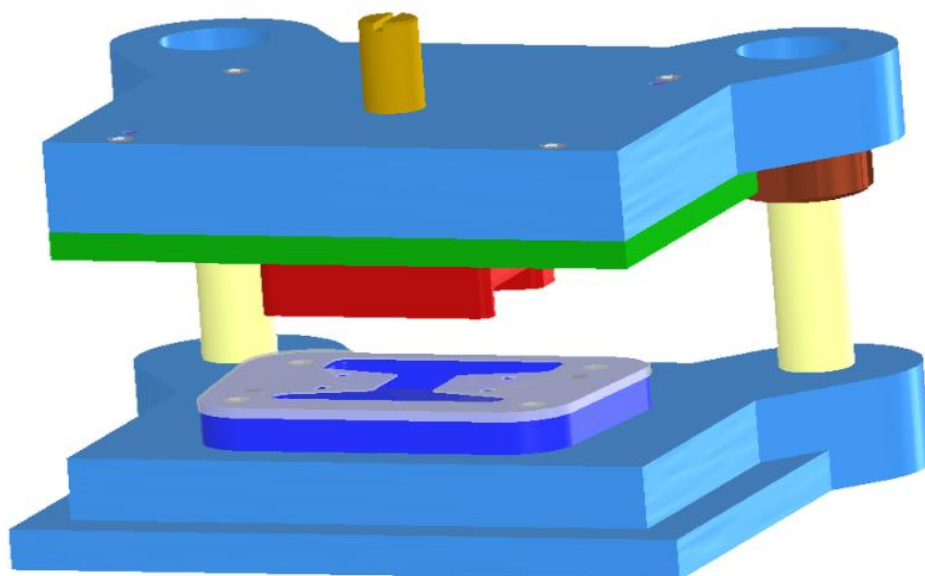


Obr. 68 Obvody pro vnitřní lem

3.4.1 Volba stroje a návrh nástroje

Volba vhodného lisu pro provedení operace se odvíjí od různých faktorů, jakými jsou celková lemovací síla, velikost zdvihu beranu a také upínací plochy. Sílu, které je třeba dosáhnout, je schopen vyvinout výstředníkový lis S 160, který je uveden společně se svými technickými parametry v příloze 3. Byl zvolen z důvodu možného výhodnějšího odběru od stejné firmy, což výrazně sníží výsledné pořizovací náklady.

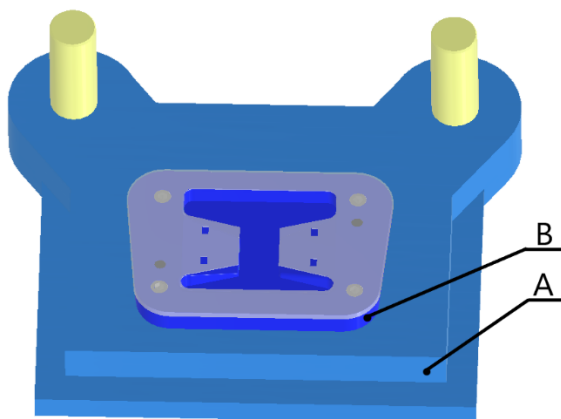
Nástroj v otevřeném stavu je viditelný na obr. 69. přičemž je patrné, že se skládá z horní a spodní části. Je vsazen do koupeneho stojánu, ke kterému jsou pomocí šroubů a kolíků připevněny funkční části.



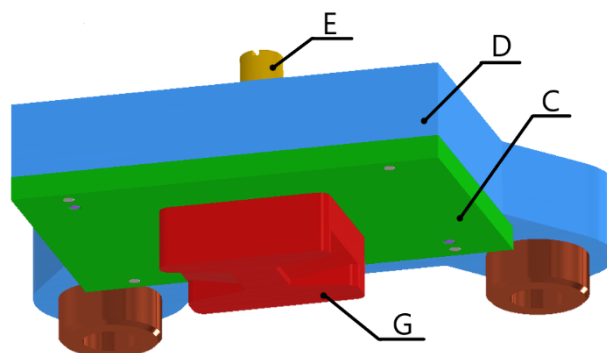
Obr. 69 Lemovací nástroj v otevřeném stavu

Základnu spodní části nástroje (obr. 70) tvoří základová deska (poz. A). O ni je opírána matrice (poz. B).

Horní část nástroje (obr. 71) tvoří upínací deska, jež je pro ni základnou (poz. D), přičemž je o ni opřena kotvící deska (poz. C). V ní je vytvořen otvor, který je osazen a pomocí kterého je zajištěna poloha lisovníku (poz. G). Pro upnutí nástroje do stroje je v upínací desce stopka (poz. E), která je s ní spojena pomocí závitu a je umístěna v těžišti.



Obr. 70 Spodní část lemovacího nástroje



Obr. 71 Horní část lemovacího nástroje

4 ZÁVĚRY

Práce se zabývala výrobou součásti, která nese název držák žehličky, je součástí sestavy žehlicího prkna a plní funkci odkládací plochy. K výrobě byl zvolen materiál o jakosti 11 373 ve formě plechu s tloušťkou 1,5 mm, a to v rámci výrobní série 30 000 ks/rok.

Při volbě optimálních technologií bylo třeba vzít v úvahu nespočet faktorů. Jednalo se zejména o rozměrovou a tvarovou přesnost, druh materiálu, drsnost povrchu, ekonomickou náročnost technologie i s ohledem na náklady spojené s pořízením potřebného zařízení, tloušťku polotovaru a některé další. Po kritickém zhodnocení všech relevantních okolností byly pro výrobu součásti zvoleny technologie stříhání v postupovém nástroji, lemování a ohýbání.

Provedením posouzení technologičnosti bylo zjištěno, že vyráběná součást svou konstrukcí vyhovuje, tudíž nebylo v tomto ohledu nutné provádět žádné změny. Pro výrobu součásti byl stanoven odpovídající přístřih, a to s ohledem na provádění následných operací. Z výsledného tvaru bylo navrženo rozmístění součásti a pořadí jednotlivých kroků stříhání, jejichž počet byl stanoven na tři. Jelikož podnik nedisponoval vlastním odvíjecím zařízením, byl jako polotovar zvolen plech ve formě tabule o rozměrech 1 000 x 2 000 mm, a to i při daném výrobním množství. Pro zajištění celé série bylo určeno 1 112 tabulí, jejichž využití bylo vypočteno na hodnotu přes 77 %. Operace stříhání byla podrobena technologickým a konstrukčním výpočtům, s jejichž zohledněním byl zkonstruován nástroj a také zvolen stroj v podobě výstředníkového lisu s výrobním označením S 250.

V rámci druhé operace bylo stanoveno zhotovení ohybu a lemu na vnější straně součásti. Důvodem pro částečné sloučení operací byla příliš komplikovaná konstrukce nástroje v případě, kdy by lemování bylo prováděno v rámci jedné operace na obou stranách součásti. Po provedení potřebných technologických výpočtů byl navržen nástroj a dále také stroj, kterým byl zvolen výstředníkový lis s výrobním označením S 160.

Poslední operaci představuje lemování na vnitřní straně součásti, pro něž byl proveden technologický výpočet a poté byl navržen vhodný nástroj. V rámci volby stroje byl z důvodu možného výhodnějšího odběru od jedné firmy a snížení nákladů vybrán výstředníkový lis S 160.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [31]

1. ZDEŇEK, Lidmila a Emil SVOBODA. *Strojírenská technologie* [online]. 1. Brno: Univerzita obrany, 2006, 250 s. [cit. 2021-02-22]. ISBN 978-80-7231-220-7. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:828365e0-7482-11e8-9690-005056827e51?page=uuid:6cf71bf0-8a2f-11e8-bb44-5ef3fc9ae867>
2. HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie 1: Nauka o materiálu* [online]. Praha: Scientia, 2007, 266 s. [cit. 2021-02-22]. ISBN 978-80-86960-26-5. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:fd943850-b8ce-11e3-b833-005056827e52?page=uuid:8bf74c40-c5d6-11e3-93a3-005056825209>
3. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběr z norem: pro konstrukční cvičení*. 5. doplněné. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2016. ISBN 978-80-7204-838-0.
4. FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Konstrukční oceli*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996, 261 s. ISBN 80-85867-95-8.
5. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 5. upravené. Úvaly: Albra, 2011, 927 s. ISBN 978-80-7361-081-4.
6. ČSN 41 1373: Ocel 11 373. Praha: Český normalizační institut, 1994, 24 s.
7. HLUCHÝ, Miroslav. *Strojírenská technologie 2: 1. díl. Polotovary a jejich technologičnost* [online]. 2. upravené. Praha: Scientia, 2001, 316 s. [cit. 2021-03-29]. ISBN 80-7183-244-8. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:1a1acd20-b9d8-11ea-b68c-005056827e52?page=uuid:db6ffa9d-ed42-4b52-936f-04535ea0bcd5>
8. Řezání plazmou. In: *Schinkmann* [online]. Mladá Boleslav: Schinkmann, [2004] [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/rezani-plazmou-plamenem>
9. Vodní paprsek. In: *SPOJMATCZ* [online]. Praha: SPOJMATCZ, [2002] [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <http://paprsekspojmatwbm.webmium.com/vodni-paresek>
10. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s.
11. Děrovací stroje. In: <https://www.sp-tech.cz/> [online]. Nymburk: Sp-Tech [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.sp-tech.cz/produkty/euromac/derovaci-stroje/>
12. Technologie laserového dělení. In: *IVT CENTRUM* [online]. Paskov: IVT CENTRUM, [2006] [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <http://www.ivt.cz/our-services/design-and-build/>
13. PROJEKT KONSTRUKCE A REALIZACE POSTUPOVÉHO STŘIHADLA. In: *SKOL* [online]. Krnov: SKOL s. r. o., [2012] [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://skol.cz/produkty/postupova-strihadla>
14. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření plošné a objemové tváření*. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
15. Lemovací stroje. *FORMETAL* [online]. Měšice: FORMETAL, [2001] [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.formetal.cz/lemovaci-stroje>
16. Lisování plechu. In: <https://electric-in-home.com/> [online]. electric-in-home [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=bYW-Mkb6yPY&ab_channel=Oldsciencefilm

- 17 Ohýbaví přípravek do tvaru V.
In: [Http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm) [online].
Liberec: Technická univerzita Liberec, [2006] [cit. 2021-03-12]. Dostupné
z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07-ohybani/08-v%20ohyb.jpg
- 18 FOREJT, Milan. *Teorie tváření* [online]. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 167 s. [cit. 2021-03-14]. ISBN 80-214-2764-7. Dostupné
z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:6f149e40-8afd-11e6-88c5-005056827e52?page=uuid:0df05830-a07d-11e6-bfc2-001018b5eb5c>
- 19 FINDA, Luděk a Roman HALTUF. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM: Stroje v třískovém obrábění, CNC řízení. *MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM* [online]. 2010, 2010, 2010(6) [cit. 2021-03-15].
Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani>
- 20 SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. *Speciální technologie tváření: Část II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4406-5.
- 21 LENFELD, Petr. *Technologie II: Část 1. Tváření kovů* [online]. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009, 110 s. [cit. 2021-03-29]. ISBN 978-80-7372-466-5. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:e5ff7880-eca9-11e3-a2c6-005056827e51?page=uuid:ba518210-ff4f-11e3-9806-005056825209>
- 22 FOREJT, Milan. *Teorie obrábění, tváření a nástroje* [online]. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. [cit. 2021-03-30]. ISBN 80-214-2374-9. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:0ec08710-3486-11e7-8e0f-005056827e52?page=uuid:ba1c0300-40ac-11e7-b3c8-005056825209>
- 23 KAMELANDER, Ivan. *Tvářecí stroje II* [online]. Druhé. Brno: VUT, 1989, 341 s. [cit. 2021-03-31]. ISBN 80-214-1038-8.
Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:dd3d02c0-9f75-11e3-8e84-005056827e51?page=uuid:d04be1c0-be4d-11e3-85ae-001018b5eb5c>
- 24 RUDOLF, Bedřih a Miloslav KOPECKÝ. *Tvářecí stroje: Základy výpočtů a konstrukce* [online]. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1979, 407 s. [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:11487950-a8dc-11e2-b6da-005056827e52?page=uuid:4a375fa0-c327-11e2-b48c-001018b5eb5c>
- 25 NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
- 26 DVOŘÁK, Milan. *Technologie II* [online]. 3. doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. [cit. 2021-04-03]. ISBN 80-214-2683-7. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:fc3098d0-8af6-11e6-88c5-005056827e52?page=uuid:abd085a0-9fb7-11e6-9328-005056825209>
- 27 DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: Návod do cvičení* [online]. Druhé. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 103 s. [cit. 2021-04-03]. ISBN 80-214-2881-3.
Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:4f8e4790-1b69-11e7-8bbb-005056827e52?page=uuid:e0c1d8f0-24f4-11e7-a77b-001018b5eb5c>
- 28 ČSN 22 6015. Praha: Český normalizační institut, 1977.
- 29 Výstředníkové lisy. *Šmeral* [online]. Brno: Šmeral, [2002] [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/46/s-250>

- 30 Výstředníkové lisy. *Šmeral* [online]. Brno: Šmeral, [2002] [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/44/s-160>
- 31 CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Šířka součásti	[mm]
A_{ed}	Rozměr střížnice pro děrování	[mm]
A_{ev}	Rozměr střížnice pro vystřihování	[mm]
A_j	Jmenovitý rozměr	[mm]
A_{kd}	Rozměr střížníku pro děrování	[mm]
A_{kv}	Rozměr střížníku pro vystřihování	[mm]
A_L	Hodnota rozvinutého rozměru lemu	[mm]
A_O	Ohýbací práce	[J]
A_s	Střížná práce	[J]
A_v	Celková hodnota přístřihu vnitřního lemu	[mm]
A_{ve}	Celková hodnota přístřihu vnějšího lemu	[mm]
a_{mo}	Výška obdélníkového střížníku	[mm]
a_T	Šířka tabule	[mm]
b	Šířka ohýbaného plechu	[mm]
b_{min}	Minimální šířka obdélníkového otvoru	[mm]
b_{mo}	Šířka obdélníkového střížníku	[mm]
b_T	Délka tabule	[mm]
c	Koeficient závislý na druhu stříhaného materiálu	[-]
c_2	Součinitel závislý na druhu materiálu a způsobu ohybu	[-]
D_L	Průměr lemu	[mm]
D_{LV}	Průměr olemovaného otvoru vnitřní části	[mm]
D_{Lve}	Průměr vnějšího lemu	[mm]
D_{vl}	Přepočítaný průměr z obvodu vnitřního lemu	[mm]
D_{vel}	Přepočítaný průměr z obvodu vnějšího lemu	[mm]
d_o	Průměr výchozího otvoru	[mm]
d_{ov}	Průměr výchozího otvoru vnitřního lemu	[mm]
d_{ove}	Průměr vnějšího přístřihu pro vnější lem	[mm]
d_{vel}	Přepočítaný výchozí průměr z obvodu před lemováním pro vnější	[mm]
d_{vl}	Přepočítaný výchozí průměr z obvodu před lemováním	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
e	Můstek	[mm]
f	Šířka okraje plechu	[mm]
F_L	Lemovací síla	[N]
F_{lis}	Síla lisu	[N]
F_o	Ohybová síla	[N]
F_{Oc}	Celková ohybová síla	[N]
F_s	Střížná síla	[N]
F_{s1}	Střížná síla pro první operaci	[N]
$F_{s1,1}$	Střížná síla pro obdélníkový střížník v první operaci	[N]
$F_{s1,2}$	Střížná síla pro obdélníkový střížník v první operaci	[N]
$F_{s1,3}$	Střížná síla pro obdélník ve středu součásti v první operaci	[N]
$F_{s1,4}$	Střížná síla pro obdélníkový střížník v první operaci	[N]
$F_{s1,5}$	Střížná síla pro obdélníkový střížník v první operaci	[N]
F_{s2}	Střížná síla pro druhou operaci	[N]
$F_{s2,1}$	Střížná síla pro vnitřní tvar menší	[N]
$F_{s2,2}$	Střížná síla pro vnitřní tvar větší	[N]

Označení	Legenda	Jednotka
F_{s3}	Střížná síla pro třetí operaci	[N]
F_{sc}	Celková střížná síla	[N]
F_{vel}	Lemující síla pro vnější lem	[N]
F_{vl}	Lemující síla pro vnitřní lem	[N]
H	Velikost přesahujícího okraje	[mm]
H_V	Hodnota přídatku vnitřního lemu	[mm]
H_{ve}	Hodnota přídatku vnějšího lemu	[mm]
h	Výška lemu	[mm]
h_v	Výška vnitřního lemu	[mm]
h_{ve}	Výška vnějšího lemu	[mm]
I	Moment setrvačnosti	[mm ⁴]
K_{pIA}	Počet dílců na jednom páse u varianty IA	[ks]
K_{TIA}	Počet výstřížků z jedné tabule u varianty IA	[ks]
k	Krok	[mm]
k_d	Součinitel hloubky vtlačení	[-]
k_f	Koeficient průběhu síly	[-]
k_L	Koeficient lemování	[-]
k_o	Součinitel určující polohu neutrální osy	[-]
L_C	Délka ohnuté části	[mm]
l	Délka stříhu	[mm]
l_{krit}	Kritická délka	[mm]
l_{min}	Minimální délka ramene	[mm]
$l_{min d}$	Minimální vzdálenost otvorů	[mm]
l_o	Délka ohnuté části	[mm]
l_{pu}	Délka přímého úseku	[mm]
lv	Vzdálenost mezi opěrami	[mm]
n	Součinitel otupení	[-]
n_b	Koeficient bezpečnosti	[-]
$O_{m\check{c}t}$	Obvod menší části vnitřního tvaru v druhé operaci	[mm]
O_{om}	Obvod obdélníkového střížníku v první operaci	[mm]
O_{ov}	Obvod obdélníku ve středu součásti v první operaci	[mm]
O_v	Obvod výstřížku	[mm]
$O_{v\check{c}t}$	Obvod větší části vnitřního tvaru v druhé operaci	[mm]
O_{ve}	Obvod vnějšího lemu s přístřihem	[mm]
O_{veb}	Obvod vnějšího lemu bez přístřihu	[mm]
P	Přípustná míra opotřebení	[mm]
P_p	Požadovaná přesnost	[mm]
P_{pIA}	Počet pásů u jedné tabule u varianty IA	[ks]
P_{pr}	Požadovaná přesnost roztečí	[mm]
P_r	Přesnost roztečí	[mm]
P_s	Přesnost stříhání	[mm]
P_{tIA}	Potřebný počet tabulí pro zajištění série v případě varianty IA	[ks]
R_{1max}	Maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{1min}	Minimální poloměr ohybu	[mm]
Re	Mez kluzu ohýbaného materiálu	[MPa]

Označení	Legenda	Jednotka
R_L	Poloměr lemu	[mm]
$(R_L)_s$	Poloměr střední křivky válcového úseku	[mm]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_o	Poloměr ohybu	[mm]
r_m	Poloměr matrice	[mm]
r_o	Poloměr otvoru	[mm]
S	Plocha stříhu	[mm ²]
S_T	Plocha tabule	[mm ²]
S_v	Plocha výstřižku	[mm ²]
s	Tloušťka materiálu	[mm]
\bar{S}	Šířka pásu	[mm]
V_s	Velikost výrobní série	[ks/rok]
v	Střižná vůle	[mm]
v_{mo}	Vzdálenost mezi otvory	[mm]
v_{mos}	Vzdálenost mezi otvory na součásti	[mm]
v_o	Vzdálenost otvoru od kraje	[mm]
v_{os}	Vzdálenost stříhaného otvoru	[mm]
x	Součinitel posunutí neutrální plochy	[mm]
x_L	Délka výstřižku	[mm]
Z	Střižná mezera	[mm]
α	Úhel ohybu	[°]
α_l	Lemovací úhel	[°]
γ	Úhel ohnutého úseku	[°]
γ_o	Úhel odpružení	[°]
δ_e	Výrobní tolerance střižnice	[mm]
δ_k	Výrobní tolerance střižníku	[mm]
δ_{vel}	Poměr velikosti otvorů vnějšího lemu	[-]
δ_{vl}	Poměr velikosti otvorů vnitřního lemu	[-]
ε_c	Mezní prodloužení	[-]
η_{IA}	Procentuální využití varianty IA	[%]
μ	Součinitel tření	[-]
ρ	Poloměr neutrální osy	[mm]
$(\sigma_k)_v$	Přirozený přetvárný odpor	[MPa]
σ_o	Příspěvek od ohybu	[MPa]
σ_r	Radiální napětí	[MPa]
$(\sigma_r)_k$	Komplexní radiální napětí	[MPa]
τ_s	Střižný odpor	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklad součástí vyrobené plošným tvářením	9
Obr. 2 Zadaná součást	10
Obr. 3 Sestava žehlicího prkna	10
Obr. 4 Základní rozměry součásti	10
Obr. 5 Řezání plazmo [8]	11
Obr. 6 Řezání vodním paprskem [9]	11
Obr. 7 Vysekávací automat [11]	12
Obr. 8 Řezání laserem [12]	12
Obr. 9 Postupový nástroj [13]	12
Obr. 10 Lemovací stroj [15]	12
Obr. 11 Lemovací nástroj [16]	13
Obr. 12 Ohýbadlo [17]	13
Obr. 13 Střížný proces [18]	14
Obr. 14 Střížná plocha [10]	14
Obr. 15 Stříhání při malé a velké střížné vůli [18]	15
Obr. 16 Průběh střížného procesu a síly [18]	16
Obr. 17 Lemování [20]	16
Obr. 18 Tvarová součást [20]	16
Obr. 19 Zvolení mezery [20]	17
Obr. 20 Rozvinutý rozměr lemu [14]	17
Obr. 21 Tvary lisovníků a průběh síly [20]	18
Obr. 22 Ohýbání [14]	18
Obr. 23 Rozvinutý polotovar [7]	19
Obr. 24 Odpružení pro ohyb V [7]	19
Obr. 25 Minimální poloměr ohybu [22]	19
Obr. 26 Průběh ohybové síly pro V [21]	20
Obr. 27 Klikový lis [24]	20
Obr. 28 Hydraulický lis [24]	21
Obr. 29 Střížný nástroj [25]	21
Obr. 30 Sdružený nástroj [20]	22
Obr. 31 Ohýbací nástroj [7]	22
Obr. 32 Vzdálenost otvorů od kraje výstřižku [27]	23
Obr. 33 Směr vláken [7]	24
Obr. 34 Rameno ohybu [7]	24
Obr. 35 Držák žehličky	25
Obr. 36 Rozměry otvoru	25
Obr. 37 Rozměr rozteče	25
Obr. 38 Vzdálenost od okraje	26
Obr. 39 Poloměr ohybu	26
Obr. 40 Vzdálenost otvorů od ohybu	26
Obr. 41 Rozměry lemů	26
Obr. 42 Poloměry lemu vnitřního	27
Obr. 43 Poloměry lemu vnějšího	27
Obr. 44 Délka přímého úseku	27
Obr. 45 Rozměry přístřihu	28
Obr. 46 Nástřihový plán varianta I	28
Obr. 47 Nástřihový plán varianta II	29
Obr. 48 Stříhání tabule	29

Obr. 49 Znázornění obvodů obdélníků	30
Obr. 50 Znázornění obvodů vnitřní části	31
Obr. 51 Znázornění obvodu součásti	31
Obr. 52 Těžiště jednotlivých částí a působíště výsledné síly	32
Obr. 53 Obdélníkový střížník	33
Obr. 54 Rozměry jednotlivých střížníků.....	33
Obr. 55 Střížník pro třetí operaci	34
Obr. 56 Délka obdélníkového střížníku.....	34
Obr. 57 Výstředníkový lis S 250 [29].....	35
Obr. 58 Postupové stříhadlo v sevřeném stavu	35
Obr. 59 Spodní část postupového stříhadla	35
Obr. 60 Horní část postupového stříhadla	36
Obr. 61 Vzdálenost mezi opěrami ohybnice.....	37
Obr. 62 Šířka ohýbaného plechu.....	37
Obr. 63 Obvody vnějšího lemu	37
Obr. 64 Výstředníkový lis S 160 [30].....	38
Obr. 65 Ohýbací nástroj v otevřeném stavu	38
Obr. 66 Spodní část ohýbacího nástroje	38
Obr. 67 Horní část ohýbacího nástroje	38
Obr. 68 Obvody pro vnitřní lem	39
Obr. 69 Lemovací nástroj v otevřeném stavu	40
Obr. 70 Spodní část lemovacího nástroje	40
Obr. 71 Horní část lemovacího nástroje	40

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení oceli 11 373.0 [6]	11
Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 11 373.0 [6]	11
Tab. 3 Dosažitelné přesnosti děrovaných kruhových otvorů [28]	22
Tab. 4 Dosažitelné přesnosti výstřížků a tvarových otvorů [28]	23
Tab. 5 Dosažitelné přesnosti roztečí děrovaných otvorů [28]	23
Tab. 6 Velikost nejmenších děrovaných otvorů [27]	23
Tab. 7 Vzdálenost otvorů od okraje výstřížku a mezi otvory [27]	23
Tab. 8 Závislost součinitele posunutí na poloměru ohybu a tloušťce plechu [14]	27
Tab. 9 Přehled výsledků nástřihových plánů	30
Tab. 10 Tolerance přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel [28]	33
Tab. 11 Funkční rozměry střížníků a střížnice	33
Tab. 12 Funkční rozměry střížníku a střížnice	34

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Parametry postupového stříhání pro čtvercový tvar [27]
Příloha 2	Technická data výstředníkového lisu S 250 [29]
Příloha 3	Technická data výstředníkového lisu S 160 [30]

SEZNAM VÝKRESŮ

Držák žehličky	2021-BP-213014	Výkres součásti
Postupový nástroj	2021-BP-213014	Výkres sestavení
Ohýbací nástroj	2021-BP-213014	Výkres sestavení
Lemovací nástroj	2021-BP-213014	Výkres sestavení
Střížník	2021-BP-213014	Výkres součásti

Tab. 15 Parametry postupového stříhání – čtvercový tvar

Tloušťka materiálu	Šířka pásu											
	do 15		15 – 50		50 – 100		100 – 200		200 – 300		300 – 400	
	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f
0,1 – 0,9	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8	2,2	2,5	3,1				
1	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5	3	3,7	4	4,8	4,8	6
1,3	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3	4,2	5,2	5,3	6,5
1,5	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3	4,5	5,4	5,6	6,8
1,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	3,5	4,3	4,7	5,6	5,8	7
2	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7	4	5	5	6	6	7
2,2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,2	6,2	7,2
2,5	2,5	3,1	2,8	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,3	7,2
2,8	2,8	3,5	3	3,7	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,5	7,3
3	3	3,7	3,2	4	3,5	4,3	4,5	5,5	5,5	6,5	6,6	7,5
3,5			3,5	4,3	4	5	5	6	6	7	7	8,5
4			3,8	4,5	4,5	5,5	5,5	6,5	6,7	8	8	9,3
4,5			4,0	4,8	4,5	5,7	5,5	6,8	7	8,3	8,3	9,8
5			4,5	5	5	6	6	7	7,3	8,5	8,7	10

Výpočet délky kroku: $k = l_v + e$ [mm]

Šířka pásu: $P = š_v + 2f + g$ [mm]

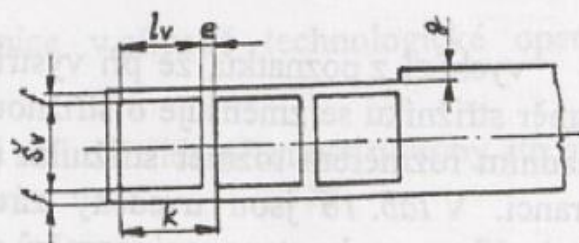
l_v – délka výstřižku

$š_v$ – šířka výstřižku

e – můstek

f – šířka okraje plechu

g – okraj po ostřížení ostříhovacím nožem



Příloha 2 – Technická data výstředníkového lisu S 250 [29]

VÝSTŘEDNÍKOVÉ LISY
S 250

TECHNICKÁ DATA

Výstředníkové lisy jsou lisy s nastavitelným zdvihem beranu, se stojanem tvaru "C" a jsou určené pro ostřihování výronků zápustkových výkovků za tepla a také pro děrovací, ohýbací či jiné operace v lisovnách, zejména při zpracování pásů plechu nebo svitku. Stroje nabízíme s rozsahem jmenovité tvářecí síly 1,6 - 2,5 MN.



TECHNICKÁ DATA

		S 160	S 160 E	S 250
Tvářecí síla	kN	1600	1600	2500
Sevření	mm	500	500	600
Vyložení	mm	400	400	500
Upínací plocha stolu	mm	1200x800	1200x800	1400x1000
Upínací plocha beranu	mm	850x520	860x520	1000x650
Zdvih beranu	mm	20-160	20-160	30-200
Počet zdvihů	min-1	40/60	60	50
Přestavování beranu	mm	100	100	125
Celkový instalovaný výkon	kW	23	15	25
Rozměry stroje v*š*h	m	3,3*1,4*2,5	3,3*1,2*2,3	3,9*1,6*2,9

Příloha 3 – Technická data výstředníkového lisu S160 [30]

VÝSTŘEDNÍKOVÉ LISY
S 160

TECHNICKÁ DATA

Výstředníkové lisy jsou lisy s nastavitelným zdvihem beranu, se stojanem tvaru "C" a jsou určené pro ostřihování výronků zápustkových výkovků za tepla a také pro děrovací, ohýbací či jiné operace v lisovnách, zejména při zpracování pásů plechu nebo svitku. Stroje nabízíme s rozsahem jmenovité tvářecí síly 1,6 - 2,5 MN.



TECHNICKÁ DATA

		S 160	
Tvářecí síla	kN	1600	
Sevření	mm	500	
Vyložení	mm	400	
Upínací plocha stolu	mm	1200x800	
Upínací plocha beranu	mm	850x520	
Zdvih beranu	mm	20-160	
Počet zdvihů	min-1	40/60	
Přestavování beranu	mm	100	
Celkový instalovaný výkon	kW	23	
Rozměry stroje v*š*h	m	3,3*1,4*2,5	